



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones

PROYECTO FIN DE CARRERA

DISEÑO DE UNA RED DE MICROONDAS ENTRE LOS PRINCIPALES AEROPUERTOS DE YEMEN

Autora: Teresa María Ortiz Montero

Tutora Empresa Indra: Beatriz Gallardo Hernando

Tutora Universidad Carlos III: Ana García Armada

Leganés, Julio de 2015

Título: Diseño de una red de microondas entre los principales aeropuertos de Yemen.

Autora: Teresa María Ortiz Montero

Tutora Empresa Indra: Beatriz Gallardo Hernando

Tutora Universidad Carlos III de Madrid: Ana García Armada

EL TRIBUNAL

Presidente: Víctor Gil Jiménez

Vocal: Antonio de la Oliva Delgado

Secretaria: Raquel Pérez Leal

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 8 de Julio de 2015 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Este Proyecto Fin de Carrera pretende dar por finalizado una etapa en mi vida que comenzó con los estudios de Ingeniería Técnica de Telecomunicación en la Universidad Carlos III de Madrid allá por Septiembre de 2002. He de reconocer que ha supuesto un largo camino a recorrer en mi vida y que por unos motivos u otros he ido postergando.

Pero en este momento por fin puedo dar por concluido este capítulo en mi vida y quiero agradecer la ayuda a mi familia y amigos que me han animado en los últimos años a terminar mis estudios y a no perder la fuerza de voluntad por el camino.

También quiero dar las gracias a mis compañeros de trabajo que han estado más a mi lado y de los que me he nutrido durante mi carrera profesional que dura ya más de 8 años afianzando mis conocimientos de mi etapa universitaria, ellos que me han animado a seguir con este PFC.

Y por supuesto quiero dar las gracias a mi tutora y compañera Beatriz Gallardo por ofrecerme su ayuda sin estar obligada a ello para guiarme en la realización de este trabajo lo que me ha proporcionado un mayor aprendizaje en mi carrera como Ingeniero Técnico.

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo el diseño completo de una red de radioenlaces entre los principales aeropuertos de Yemen para mejorar la coordinación y organización de su espacio aéreo.

En los capítulos en los que se divide este documento se pueden ver las distintas fases del proceso de diseño hasta llegar a una solución optimizada para implantar en campo.

Se analiza en un principio el problema y el objetivo que se pretende conseguir con una red de este tipo, y se estudia uno a uno los emplazamientos que se necesitan conectar.

Se presenta como resultado de estos primeros pasos, una arquitectura de red basada en un diseño preliminar que es necesario chequear para analizar las ventajas y desventajas que pueden ofrecer unas y otras opciones.

Por supuesto como en todo estudio de red de radioenlaces se tiene muy en cuenta la orografía del terreno ya que influye directamente en la topología de la red y en el diseño de cada vano.

Una vez se tienen localizados los emplazamientos y los puntos repetidores necesarios, se estudiará cada enlace en la banda de frecuencias disponible con los requerimientos técnicos, para verificar uno a uno la viabilidad de cada enlace, la planificación de frecuencias y la disponibilidad de la red a conseguir.

Al final de este documento se presenta la solución de radioenlaces propuesta, pero es estrictamente necesario antes de empezar la instalación, realizar una verificación in-situ de cada emplazamiento (aeropuertos, repetidores, etc.) para confirmar el diseño y evitar así problemas que puedan surgir en la fase de implantación.

Índice General

PROYECTO FIN DE CARRERA	I
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contexto	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Organización del PFC.....	4
2. ANÁLISIS.....	5
2.1. Estudio preliminar	6
2.2. Radioenlaces posibles.....	11
2.2.1. Resumen.....	23
3. ARQUITECTURA DE LA RED	25
3.1. Opción enlace Sanaa-Ataq	28
3.2. Arquitectura de red final.....	29
4. DISEÑO DE RADIOENLACES	31
4.1. Búsqueda de repetidores	32
4.1.1. Estudio de cobertura Aden-Taiz	34
4.1.2. Estudio de cobertura Taiz-Hodeidah	38
4.1.3. Estudio de cobertura Hodeidah-Sanaa	44
4.1.4. Estudio de cobertura Saná-Ataq.....	48
4.1.5. Estudio de cobertura Ataq-Aden.....	51
4.1.6. Estudio de cobertura Ataq-Seiyun	55
4.1.7. Estudio de cobertura Seiyun-Al Ghaydah.....	60

4.1.8.	Estudio de cobertura Al Ghaydah-Riyan Mukalla.....	64
4.1.9.	Estudio de cobertura Riyan Mukalla-Seiyun	68
4.2.	Banda de frecuencias	73
4.3.	Especificación técnica	74
4.4.	Configuración de los enlaces	76
4.5.	Balance de enlace	80
4.5.1.	Enlace Aden-Taiz.....	83
4.5.1.1.	Aden-Rep1A	83
4.5.1.2.	Rep1A-Taiz.....	88
4.5.1.3.	Resumen enlace Aden-Taiz	89
4.5.2.	Enlace Taiz-Hodeidah.....	89
4.5.2.1.	Hodeidah-Rep2A	89
4.5.2.2.	Rep2A-Rep2B.....	91
4.5.2.3.	Rep2B-Rep2C	92
4.5.2.4.	Rep2C-Taiz	93
4.5.2.5.	Resumen enlace Taiz-Hodeidah	94
4.5.3.	Enlace Hodeidah-Sanaa	94
4.5.3.1.	Hodeidah-Rep3A	94
4.5.3.2.	Rep3A-Rep3B.....	96
4.5.3.3.	Rep3B-Rep3C	97
4.5.3.4.	Rep3C-Sana	98
4.5.3.5.	Resumen enlace Hodeidah-Sanaa	99
4.5.4.	Enlace Sanaa-Ataq	99
4.5.4.1.	Ataq-Rep4A	99
4.5.4.2.	Rep4A-Rep4B.....	101
4.5.4.3.	Rep4B-Rep4C	103
4.5.4.4.	Enlace Rep4C-Sana	104
4.5.4.5.	Resumen enlace Sanaa-Ataq.....	105
4.5.5.	Enlace Ataq-Aden.....	105
4.5.5.1.	Aden-Rep5A	105
4.5.5.2.	Rep5A-Rep5B.....	107
4.5.5.3.	Rep5B-Ataq	108
4.5.5.4.	Resumen enlace Ataq-Aden.....	108
4.5.6.	Enlace Ataq-Seiyun	109
4.5.6.1.	Seiyun-Rep6A.....	109
4.5.6.2.	Rep6A-Rep6B.....	110
4.5.6.3.	Rep6B-Rep6C	111
4.5.6.4.	Rep6C-Rep6D.....	112
4.5.6.5.	Rep6D-Rep6E.....	113
4.5.6.6.	Rep6E-Ataq.....	114
4.5.6.7.	Resumen enlace Ataq-Seiyun	114
4.5.7.	Enlace Seiyun-Al Ghaydah.....	115
4.5.7.1.	AlGhaydah-Rep7A	115
4.5.7.2.	Rep7A-Rep7B.....	116
4.5.7.3.	Rep7B-Rep7C	117
4.5.7.4.	Rep7C-Rep7D.....	118

4.5.7.5.	Rep7D-Seiyun.....	119
4.5.7.6.	Resumen enlace Seiyun-Al Ghaydah.....	119
4.5.8.	Enlace Al Ghaydah-Ryan Mukalla	120
4.5.8.1.	AlGhaydah-Rep8A	120
4.5.8.2.	Rep8A-Rep8B.....	121
4.5.8.3.	Rep8B-Rep8C	122
4.5.8.4.	Rep8C-Rep8D.....	123
4.5.8.5.	Rep8D-Riyan Mukalla	124
4.5.8.6.	Resumen enlace Al Ghaydah-Riyan Mukalla.....	124
4.5.9.	Ryan Mukalla-Seiyun	125
4.5.9.1.	Riyan Mukalla-Rep9	125
4.5.9.2.	Rep9A-Rep9B.....	126
4.5.9.3.	Rep9B-Rep9C	127
4.5.9.4.	REp9C-Seiyun	128
4.5.9.5.	Resumen enlace Riyan Mukalla-Seiyun	128
4.6.	Posible bloqueo en Ataq	129
4.6.1.	Enlace Ataq-Rep4A	130
4.6.2.	Enlace Ataq-Rep5B	132
4.7.	Plan de frecuencias	134
4.7.1.	Radio canales	134
4.7.2.	Planificación de frecuencias	136
4.8.	Disponibilidad de la red	143
5.	CONCLUSIONES	149
5.1.	Trabajos futuros.....	152
6.	PRESUPUESTO	153
6.1.	Costes del personal.....	154
6.2.	Costes derivados del equipamiento utilizado	154
6.3.	Costes de funcionamiento.....	155
6.4.	Costes de la red de microondas.....	155
6.5.	Resumen de los costes	156

Índice de figuras

Figura 1-1: Aeropuertos principales de Yemen	3
Figura 2-1: Aden International Airport.....	7
Figura 2-2: Taiz Al Janad Airport.....	7
Figura 2-3: Al Ghaydah Airport	8
Figura 2-4: Ataq Airport	8
Figura 2-5: Hodeidah Airport	9
Figura 2-6: Riyan Mukalla Airport.....	9
Figura 2-7: Sanaa Internacional Airport	10
Figura 2-8: Seiyun Airport.....	10
Figura 2-9: Conexión Aden con Taiz y Ataq.....	11
Figura 2-10: Perfil del enlace Aden-Ataq.....	11
Figura 2-11: Perfil del enlace Aden-Taiz.....	12
Figura 2-12: Conexión Al Ghaydah con Riyan Mukalla y Seiyun.....	13
Figura 2-13: Perfil del enlace Al Ghaydah-Riyan Mukalla.....	13
Figura 2-14: Perfil del enlace Al Ghaydah-Seiyun.....	14
Figura 2-15: Conexión Ataq con Aden y Seiyun.....	14
Figura 2-16: Perfil del enlace Ataq-Aden.....	15
Figura 2-17: Perfil del enlace Ataq-Seiyun	15
Figura 2-18: Conexión Hodeidah con Sanaa y Taiz	16
Figura 2-19: Perfil del enlace Hodeidah-Sanaa	16
Figura 2-20: Perfil del enlace Hodeidah-Taiz.....	17
Figura 2-21: Conexión Riyan Mukalla con Ataq y Seiyun.....	17
Figura 2-22: Perfil del enlace Riyan-Ataq	18

Figura 2-23: Perfil del enlace Riyan-Seiyun.....	18
Figura 2-24: Conexión Sanaa con Hodeidah y Taiz	19
Figura 2-25: Perfil del enlace Sanaa-Hodeidah	19
Figura 2-26: Perfil del enlace Sanaa-Taiz.....	20
Figura 2-27: Conexión Seiyun con Ataq y Riyan.....	20
Figura 2-28: Perfil del enlace Seiyun-Ataq	21
Figura 2-29: Perfil del enlace Seiyun-Riyan.....	21
Figura 2-30: Conexión Taiz con Aden y Hodeidah	22
Figura 2-31: Perfil del enlace Taiz-Aden.....	22
Figura 2-32: Perfil del enlace Taiz-Hodeidah.....	23
Figura 3-1: Resumen posibilidades enlaces	26
Figura 3-2: Resumen posibles enlaces	26
Figura 3-3: Perfil del enlace Sanaa-Ataq	28
Figura 3-4: Arquitectura de red.....	29
Figura 4-1: Configuración altura antena Aden en ICS Designer	32
Figura 4-2: Configuración coordenadas Aden en ICS Designer	33
Figura 4-3: Configuración altura antena Taiz en ICS Designer	33
Figura 4-4: Configuración coordenadas Taiz en ICS Designer	34
Figura 4-5: Configuración altura antena receptora a 20 metros	34
Figura 4-6: Cobertura Aden	35
Figura 4-7: Cobertura Taiz.....	35
Figura 4-8: Repetidor 1A	36
Figura 4-9: Cobertura Rep1A	36
Figura 4-10: Perfil del enlace Aden-Rep1A	37
Figura 4-11: Perfil del enlace Rep1A-Taiz.....	37
Figura 4-12: Enlace Aden con Taiz a través del repetidor Rep1A	37
Figura 4-13: Cobertura Taiz.....	38
Figura 4-14: Cobertura en Hodeidah.	38
Figura 4-15: Ubicación Rep2A.....	39
Figura 4-16: Cobertura Rep2A.	39
Figura 4-17: Cobertura Rep2B.....	40
Figura 4-18: Cobertura Rep2C.....	41
Figura 4-19: Cobertura Rep2D	41
Figura 4-20: Perfil del enlace Hodeidah-Rep2A	42
Figura 4-21: Perfil del enlace Hodeidah-Rep2B.....	42

Figura 4-22: Perfil del enlace Hodeidah-Rep2A	43
Figura 4-23: Perfil del enlace Rep2A-Rep2B	43
Figura 4-24: Perfil del enlace Rep2B-Rep2C	43
Figura 4-25: Perfil del enlace Rep2C-Taiz	43
Figura 4-26: Enlace Taiz con Hodeidah a través de repetidores intermedios.....	44
Figura 4-27: Cobertura de Hodeidah	44
Figura 4-28: Cobertura de Sanaa	45
Figura 4-29: Cobertura de Rep3A.....	45
Figura 4-30: Cobertura de Rep3B.....	46
Figura 4-31: Cobertura de Rep3C.....	46
Figura 4-32: Perfil del enlace Hodeidah-Rep3A	47
Figura 4-33: Perfil del enlace Rep3A-Rep3B	47
Figura 4-34: Perfil del enlace Rep3B-Rep3C	47
Figura 4-35: Perfil del enlace Rep3C-Sanaa.....	47
Figura 4-36: Enlace Hodeidah con Sanaa a través de repetidores	48
Figura 4-37: Cobertura Sanaa	48
Figura 4-38: Cobertura Ataq.....	48
Figura 4-39: Cobertura Rep4A	49
Figura 4-40: Cobertura Rep4B.....	49
Figura 4-41: Cobertura Rep4C.....	50
Figura 4-42: Perfil del enlace Ataq-Rep4A	50
Figura 4-43: Perfil del enlace Rep4A-Rep4B	50
Figura 4-44: Perfil del enlace Rep4B-Rep4C	51
Figura 4-45: Perfil del enlace Rep4C-Sanaa.....	51
Figura 4-46: Cobertura en Ataq	51
Figura 4-47: Cobertura en Aden	52
Figura 4-48: Ubicación Rep5A.....	52
Figura 4-49: Cobertura Rep5A	53
Figura 4-50: Ubicación Rep5B	53
Figura 4-51: Cobertura Rep5B.....	54
Figura 4-52: Perfil del enlace Ataq-Rep5A	54
Figura 4-53: Perfil del enlace Rep5A-Rep5B	54
Figura 4-54: Perfil del enlace Rep5B-Aden.....	55
Figura 4-55: Cobertura Ataq.....	55
Figura 4-56: Cobertura Ataq.....	55

Figura 4-57: Cobertura Rep6A	56
Figura 4-58: Cobertura Rep6B.....	56
Figura 4-59: Cobertura Rep6C.....	57
Figura 4-60: Cobertura Rep6D	57
Figura 4-61: Cobertura Rep6E.....	58
Figura 4-62: Perfil del enlace Seiyun-Rep6A	58
Figura 4-63: Perfil del enlace Rep6A-Rep6B	59
Figura 4-64: Perfil del enlace Rep6B-Rep6C	59
Figura 4-65: Perfil del enlace Rep6C-Rep6D	59
Figura 4-66: Perfil del enlace Rep6D-Rep6E	59
Figura 4-67: Perfil del enlace Rep6E-Ataq.....	60
Figura 4-68: Enlace Ataq con Seiyun a través de repetidores	60
Figura 4-69: Cobertura Seiyun.....	60
Figura 4-70: Cobertura Al Ghaydah	61
Figura 4-71: Cobertura Rep7A	61
Figura 4-72: Cobertura Rep7B.....	62
Figura 4-73: Cobertura Rep7C.....	62
Figura 4-74: Perfil del enlace Al Ghaydah-Rep7A.....	63
Figura 4-75: Perfil del enlace Rep7A-Rep7B	63
Figura 4-76: Perfil del enlace Rep7B-Rep7C	63
Figura 4-77: Perfil del enlace Rep7C-Rep7D	63
Figura 4-78: Perfil del enlace Rep7D-Seiyun	64
Figura 4-79: Enlace Al Ghaydah con Seiyun a través de repetidores.....	64
Figura 4-80: Cobertura Al Ghaydah	64
Figura 4-81: Cobertura Riyan Mukalla.....	65
Figura 4-82: Cobertura Rep8A	65
Figura 4-83: Cobertura Rep8B.....	66
Figura 4-84: Cobertura Rep8C.....	66
Figura 4-85: Cobertura Rep8D	67
Figura 4-86: Perfil del enlace Al Ghaydah-Rep8A.....	67
Figura 4-87: Perfil del enlace Rep8A-Rep8B	67
Figura 4-88: Perfil del enlace Rep8B-Rep8C	67
Figura 4-89: Perfil del enlace Rep8C-Rep8D	68
Figura 4-90: Perfil del enlace Rep8D-Riyan Mukalla	68
Figura 4-91: Enlace Al Ghaydah con Riyan Mukalla con repetidores intermedios	68

Figura 4-92: Cobertura Riyan	69
Figura 4-93: Cobertura Seiyun.....	69
Figura 4-94: Cobertura Rep9A	70
Figura 4-95: Cobertura Rep9B.....	70
Figura 4-96: Cobertura Rep9C.....	71
Figura 4-97: Perfil del enlace Riyan Mukalla-Rep9A	71
Figura 4-98: Perfil del enlace Rep9A-Rep9B	71
Figura 4-99: Perfil del enlace Rep9B-Rep9C	72
Figura 4-100: Perfil del enlace Rep9C-Seiyun	72
Figura 4-101: Enlace Riyan Mukalla con Seiyun con repetidores intermedios.....	72
Figura 4-102: Espectro radioeléctrico.....	73
Figura 4-103: Recomendación UIT-R	74
Figura 4-104: Modulación 16QAM.....	76
Figura 4-105: Configuración 1+1 HSB	77
Figura 4-106: Configuración 1+1 SD	78
Figura 4-107: Configuración 1+1 FD	78
Figura 4-108: Configuración diversidad de frecuencia sobre listo-en espera.....	79
Figura 4-109: Configuración diversidad de frecuencia sobre diversidad de espacio	79
Figura 4-110: Zona de Fresnel.....	81
Figura 4-111: Modelos de propagación	82
Figura 4-112: Configuración especificación técnica en ATDI ICS Designer	84
Figura 4-113: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)	85
Figura 4-114: Configuración especificación técnica en ATDI ICS Designer	86
Figura 4-115: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	87
Figura 4-116: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	88
Figura 4-117: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	90
Figura 4-118: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	91
Figura 4-119: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	92
Figura 4-120: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	93
Figura 4-121: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	95
Figura 4-122: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	96
Figura 4-123: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	97
Figura 4-124: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	98
Figura 4-125: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	100
Figura 4-126: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	102

Figura 4-127: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	103
Figura 4-128: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	104
Figura 4-129: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	106
Figura 4-130: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	107
Figura 4-131: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	108
Figura 4-132: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	109
Figura 4-133: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	110
Figura 4-134: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)	111
Figura 4-135: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)	112
Figura 4-136: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)	113
Figura 4-137: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	114
Figura 4-138: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	116
Figura 4-139: Simulación enlace con ganancia de antena de 2,4 m (1+1 SD)	116
Figura 4-140: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	117
Figura 4-141: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)	118
Figura 4-142: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	119
Figura 4-143: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)	120
Figura 4-144: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	121
Figura 4-145: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	122
Figura 4-146: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	123
Figura 4-147: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	124
Figura 4-148: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)	125
Figura 4-149: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	126
Figura 4-150: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)	127
Figura 4-151: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)	128
Figura 4-152: Enlaces en Ataq.....	129
Figura 4-153: Enlaces que atraviesan la pista en Ataq	129
Figura 4-154: Zona de obstrucción enlace Ataq-Rep4A	131
Figura 4-155: Parada del Airbus A320	132
Figura 4-156: Zona de obstrucción enlace Ataq-Rep5B.....	133
Figura 4-157: Parada del Airbus A320	134
Figura 4-158: Disposición de radio canales con una separación de 28 MHz	135
Figura 4-159: Enlaces de la red	138
Figura 4-160: Análisis de interferencias	141
Figura 4-161: Simulación interferencias.....	142

Figura 4-162: Disponibilidad 99,98%.....	143
Figura 4-163: Disponibilidad del 99,99%.....	147
Figura 5-1: Topología de red	150

Índice de tablas

Tabla 2-1: Distancia entre aeropuertos	6
Tabla 2-2: Ubicación torre Aden Airport.....	7
Tabla 2-3: Ubicación torre Taiz Airport	7
Tabla 2-4: Ubicación torre Al Ghaydah Airport.....	8
Tabla 2-5: Ubicación torre Ataq Airport	8
Tabla 2-6: Ubicación torre Hodeidah Airport.....	9
Tabla 2-7: Ubicación torre Riyan Mukalla Airport	9
Tabla 2-8: Ubicación torre Sanaa Airport.....	10
Tabla 2-9: Ubicación torre Seiyun Airport	10
Tabla 2-10: Resumen posible enlace Aden-Ataq.....	11
Tabla 2-11: Resumen posible enlace Aden-Taiz	12
Tabla 2-12: Resumen posible enlace Al Ghaydah-Riyan Mukalla.....	13
Tabla 2-13: Resumen posible enlace Al Ghaydah-Seiyun	14
Tabla 2-14: Resumen posible enlace Ataq-Aden.....	15
Tabla 2-15: Resumen posible enlace Ataq-Seiyun	15
Tabla 2-16: Resumen posible enlace Hodeidah-Sanaa	16
Tabla 2-17: Resumen posible enlace Hodeidah-Taiz	17
Tabla 2-18: Resumen posible enlace Riyan Mukalla-Ataq	18
Tabla 2-19: Resumen posible enlace Riyan-Seiyun	18
Tabla 2-20: Resumen posible enlace Sanaa-Hodeidah.....	19
Tabla 2-21: Resumen posible enlace Sanaa-Taiz	20
Tabla 2-22: Resumen posible enlace Seiyun-Ataq	21
Tabla 2-23: Resumen posible enlace Seiyun-Riyan	21

Tabla 2-24: Resumen posible enlace Taiz-Aden	22
Tabla 2-25: Resumen posible enlace Taiz-Hodeidah	23
Tabla 2-26: Resumen enlaces	24
Tabla 3-1: Resumen posible enlace Sanaa-Ataq.....	28
Tabla 3-2: Conexión entre aeropuertos.....	30
Tabla 4-1: Ubicación Rep1A	36
Tabla 4-2: Ubicación Rep2A	39
Tabla 4-3: Ubicación Rep2B	40
Tabla 4-4: Ubicación Rep2C	40
Tabla 4-5: Ubicación Rep2D	41
Tabla 4-6: Ubicación Rep2A	42
Tabla 4-7: Ubicación Rep2B	42
Tabla 4-8: Ubicación Rep2C	42
Tabla 4-9: Ubicación Rep3A	45
Tabla 4-10: Ubicación Rep3B	46
Tabla 4-11: Ubicación Rep3C	46
Tabla 4-12: Ubicación Rep4A	49
Tabla 4-13: Ubicación Rep4B	49
Tabla 4-14: Ubicación Rep4C	50
Tabla 4-15: Ubicación Rep5A	53
Tabla 4-16: Ubicación Rep5B	53
Tabla 4-17: Ubicación Rep6A	56
Tabla 4-18: Ubicación Rep6B	56
Tabla 4-19: Ubicación Rep6C	57
Tabla 4-20: Ubicación Rep6D	57
Tabla 4-21: Ubicación Rep6E.....	58
Tabla 4-22: Ubicación Rep7A	61
Tabla 4-23: Ubicación Rep7B	61
Tabla 4-24: Ubicación Rep7C	62
Tabla 4-25: Ubicación Rep7D	62
Tabla 4-26: Ubicación Rep8A	65
Tabla 4-27: Ubicación Rep8B	65
Tabla 4-28: Ubicación Rep8C	66
Tabla 4-29: Ubicación Rep8D	66
Tabla 4-30: Ubicación Rep9A	70

Tabla 4-31: Ubicación Rep9B	70
Tabla 4-32: Ubicación Rep9C	71
Tabla 4-33: Especificación técnica de la red	74
Tabla 4-34: Especificación técnica IDU y ODU del fabricante Aviat Networks	75
Tabla 4-35: Especificación técnica de antenas del fabricante Andrew Corporation	76
Tabla 4-36: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	83
Tabla 4-37: Balance de enlace ganancia antena 1,8 m	83
Tabla 4-38: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	88
Tabla 4-39: Diseño enlace Aden-Taiz	89
Tabla 4-40: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	89
Tabla 4-41: Balance de enlace ganancia antena 1,8 m	89
Tabla 4-42: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	91
Tabla 4-43: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	92
Tabla 4-44: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	93
Tabla 4-45: Diseño enlace Taiz-Hodeidah	94
Tabla 4-46: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	94
Tabla 4-47: Balance de enlace ganancia antena 1,8 m	94
Tabla 4-48: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	96
Tabla 4-49: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	97
Tabla 4-50: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	98
Tabla 4-51: Diseño enlace Hodeidah-Sanaa	99
Tabla 4-52: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	99
Tabla 4-53: Balance de enlace ganancia antena 1,8 m	99
Tabla 4-54: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	101
Tabla 4-55: Balance de enlace ganancia antena 1,8 m	101
Tabla 4-56: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	103
Tabla 4-57: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m	104
Tabla 4-58: Diseño enlace Sanaa-Ataq.....	105
Tabla 4-59: Diseño enlace Ataq-Aden.....	108
Tabla 4-60: Diseño enlace Ataq-Seiyun	115
Tabla 4-61: Diseño enlace Seiyun-Al Ghaydah.....	119
Tabla 4-62: Diseño enlace Al Ghaydah-Riyan Mukalla.....	124
Tabla 4-63: Diseño enlace Riyan Mukalla-Seiyun	128
Tabla 4-64: Radio canales.....	135
Tabla 4-65: Configuración enlaces	137

Tabla 4-66: Plan de frecuencias	140
Tabla 4-67: Diseño final de la red de MW entre los principales aeropuertos de Yemen	146

Capítulo 1

Introducción

En este primer capítulo se presenta el problema o necesidad con una descripción de la situación actual en Yemen y de los objetivos que se pretenden conseguir.

En los capítulos siguientes se realizará el análisis de las posibles opciones y se buscará la mejor solución técnica hasta presentar el diseño completo de una red con todas las garantías de funcionamiento para su implementación.

1.1. Contexto

En un país como Yemen en pleno avance de su desarrollo, se ha detectado un problema de coordinación entre los distintos aeropuertos que posee el país.

Tratándose de una industria y un servicio como la aviación, del que hacen uso cientos de miles de personas al día, se requiere de una comunicación e intercambio de información constante entre los principales aeropuertos que permita una gestión eficaz y eficiente del espacio aéreo, así como garantizar el buen funcionamiento ante una posible situación de emergencia.

Pueden darse desde situaciones adversas de climatología que impidan la salida o llegada de aviones hasta amenazas de seguridad, por lo que una mejora en la coordinación e intercambio de información permitirá por ejemplo, derivar aviones de un aeropuerto a otro desde el primer momento en que se tenga conocimiento de cualquier situación que pueda ocasionar malestar, perjudicar o dañar a los usuarios.

Para ello se propone una red de comunicaciones de última tecnología que permita interconectar los aeropuertos principales para mejorar el espacio aéreo yemení.

Información general YEMEN

- Capital : Saná
- Superficie Total: 527,968 km²
- Población Total: 20,727,063 habitantes
- Aeropuertos Principales de Yemen:
 1. Aden International Airport
 2. Al Ghaydah Airport
 3. Ataq Airport
 4. Hodeidah Airport
 5. Riyan Mukalla Airport
 6. Sanaa International Airport
 7. Seiyun Airport
 8. Taiz Al Janad Airport

A continuación se presenta la ubicación sobre el mapa de Yemen de los aeropuertos citados. Esta información se ha extraído de Google Earth.



Figura 1-1: Aeropuertos principales de Yemen

1.2. Objetivos

Este proyecto tiene como objetivo proporcionar conectividad radio entre los diferentes aeropuertos (tanto civiles como militares) que existen en la actualidad en Yemen.

Los objetivos de esta red son los siguientes:

- Facilitar el intercambio de información entre controladores aéreos de aeropuertos civiles y militares,
- Interacción entre unos aeropuertos y otros para mejorar la gestión del Sistema Aéreo Yemení de cara a satisfacer las necesidades del ciudadano,
- Mejorar y actualizar a la última tecnología radio la interconexión entre todos los aeropuertos,
- Integración de los últimos aeropuertos construidos a la infraestructura de comunicaciones radio.

Todo esto, por supuesto repercutirá en una red radio para el sistema de aviación yemení mucho más robusta, eficaz y eficiente porque se diseñará con una disponibilidad de toda la red del 99,99% y con capacidad de hasta 80 Mbps, redundada a nivel radio y a nivel de camino donde sea posible.

El estudio se ha realizado según el índice mostrado en el siguiente apartado.

1.3. Organización del PFC

Para la estructura de este proyecto fin de carrera, en el primer capítulo se hace una introducción que presenta la necesidad a cubrir describiendo la situación actual de Yemen y se explican los objetivos a conseguir con la red de radioenlaces.

1. Introducción

- a) Contexto
- b) Objetivos
- c) Organización del PFC

En el segundo capítulo se hace un estudio de cada uno de los aeropuertos que formarán parte de la red y se presentan las distintas opciones de interconexión entre ellos.

2. Análisis

- a) Estudio preliminar
- b) Radioenlaces posibles

En el tercer capítulo se decide la arquitectura de la red presentando las ventajas e inconvenientes de las distintas opciones.

3. Arquitectura de la red

- a) Opción enlace Sanaa-Ataq
- b) Arquitectura de red final

En el cuarto capítulo se realiza una búsqueda de los posibles repetidores necesarios, se verifica la viabilidad de cada uno de los enlaces y se presenta un plan de frecuencias.

Al final de este capítulo se realiza el estudio de la disponibilidad de la red a conseguir y se presenta el diseño final de cada radioenlace.

4. Diseño radioenlaces

- a) Búsqueda de repetidores
- b) Banda de frecuencias
- c) Especificación técnica
- d) Configuración enlaces
- e) Balance de enlace
- f) Posible bloqueo en Ataq
- g) Plan de frecuencias
- h) Disponibilidad de la red

En el capítulo 5, se presentan las conclusiones que se han obtenido con este trabajo.

5. Conclusiones

En el capítulo 6, se presenta el presupuesto de la realización de esta red.

6. Presupuesto

Capítulo 2

Análisis

Para hacer el diseño de la red, se han analizado las distintas localizaciones de los aeropuertos buscando la mejor ubicación para colocar la torre de comunicaciones donde se instalarán las antenas.

Para determinar los posibles enlaces se ha medido la distancia entre los aeropuertos y se ha analizado el perfil para los enlaces de menor distancia para así decidir la arquitectura de la red de microondas a implantar.

2.1. Estudio preliminar

Para el análisis en busca de la solución a la interconexión entre todos los aeropuertos, se va a recopilar la distancia en línea recta que hay entre todos ellos para ver que arquitectura puede encajar mejor y si se pueden utilizar los emplazamientos existentes o hay que buscar soluciones con repetidores intermedios.

Distancia (kms)	Aden Inter. Airport	Al Ghaydah Airport	Ataq Airport	Hodeidah Airport	Riyan Mukalla Airport	Sanaa Inter. Airport	Seiyun Airport	Taiz Al Janad Airport
Aden Inter. Airport	N/A	866	273	320	515	320	542	134
Al Ghaydah Airport	866	N/A	613	1015	346	856	364	910
Ataq Airport	273	613	N/A	423	275	298	263	312
Hodeidah Airport	320	1015	423	N/A	688	154	638	173
Riyan Mukalla Airport	515	346	275	688	N/A	563	157	578
Sanaa Inter. Airport	320	856	298	154	563	N/A	496	199
Seiyun Airport	542	364	263	638	157	496	N/A	562
Taiz Al Janad Airport	134	910	312	173	578	199	562	N/A

Tabla 2-1: Distancia entre aeropuertos

Como se puede ver en la tabla, los aeropuertos están muy distanciados entre sí. En azul se han resaltado los aeropuertos a menor distancia.

Dentro de cada aeropuerto se ha elegido una ubicación para instalar la torre de comunicaciones donde irán las antenas teniendo en cuenta que no haya obstáculos cerca que puedan impedir la línea de vista y que no esté muy alejado del resto de la infraestructura del aeropuerto para la integración con la red existente.

A continuación se muestran las coordenadas exactas (latitud, longitud) así como la altitud de la ubicación de la torre de comunicaciones a instalar y la localización de este punto.

Aeropuerto	Coordenadas Latitud (Norte)	Coordenadas Longitud (Este)	Altitud (m)
Aden International Airport	12°49'57.6"N	45°1'33.4"E	2

Tabla 2-2: Ubicación torre Aden Airport



Figura 2-1: Aden International Airport

Aeropuerto	Coordenadas Latitud (Norte)	Coordenadas Longitud (Este)	Altitud (m)
Taiz Al Janad Airport	13°40'14.2"N	44°8'6.1"E	1431

Tabla 2-3: Ubicación torre Taiz Airport



Figura 2-2: Taiz Al Janad Airport

Aeropuerto	Coordenadas Latitud (Norte)	Coordenadas Longitud (Este)	Altitud (m)
Al Ghaydah Airport	16°11'23.3"N	52°9'39.4"E	40

Tabla 2-4: Ubicación torre Al Ghaydah Airport



Figura 2-3: Al Ghaydah Airport

Aeropuerto	Coordenadas Latitud (Norte)	Coordenadas Longitud (Este)	Altitud (m)
Ataq Airport	14°33'8.4"N	46°49'38.6"E	1138

Tabla 2-5: Ubicación torre Ataq Airport



Figura 2-4: Ataq Airport

Aeropuerto	Coordenadas Latitud (Norte)	Coordenadas Longitud (Este)	Altitud (m)
Hodeidah Airport	14°45'10.6"N	42°59'15.3"E	18

Tabla 2-6: Ubicación torre Hodeidah Airport



Figura 2-5: Hodeidah Airport

Aeropuerto	Coordenadas Latitud (Norte)	Coordenadas Longitud (Este)	Altitud (m)
Riyan Mukalla Airport	14°40'6.7"N	49°22'15.4"E	21

Tabla 2-7: Ubicación torre Riyan Mukalla Airport



Figura 2-6: Riyan Mukalla Airport

Aeropuerto	Coordenadas Latitud (Norte)	Coordenadas Longitud (Este)	Altitud (m)
Sanaa International Airport	15°27'34.7"N	44°13'11.7"E	2205

Tabla 2-8: Ubicación torre Sanaa Airport



Figura 2-7: Sanaa Internacional Airport

Aeropuerto	Coordenadas Latitud (Norte)	Coordenadas Longitud (Este)	Altitud (m)
Seiyun Airport	15°57'47.4"N	48°47'17.7"E	643

Tabla 2-9: Ubicación torre Seiyun Airport



Figura 2-8: Seiyun Airport

2.2. Radioenlaces posibles

Se ha realizado un análisis de la línea de vista entre los aeropuertos a menor distancia según se indicaba en la tabla. Dependiendo del perfil del terreno y de la topología de red que se extraiga se elegirá la opción más factible para la conexión entre ellos.

En la mayoría de los enlaces teniendo en cuenta las largas distancias y la orografía del terreno se podrá ver si se necesitarán o no repetidores intermedios para conectar los aeropuertos.

1. Aden International Airport

Según la tabla anterior, este aeropuerto tendría los enlaces de menor distancia a:

- Ataq Airport
- Taiz Al Janad Airport



Figura 2-9: Conexión Aden con Taiz y Ataq

Se obtiene el perfil del enlace entre Aden y Ataq a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

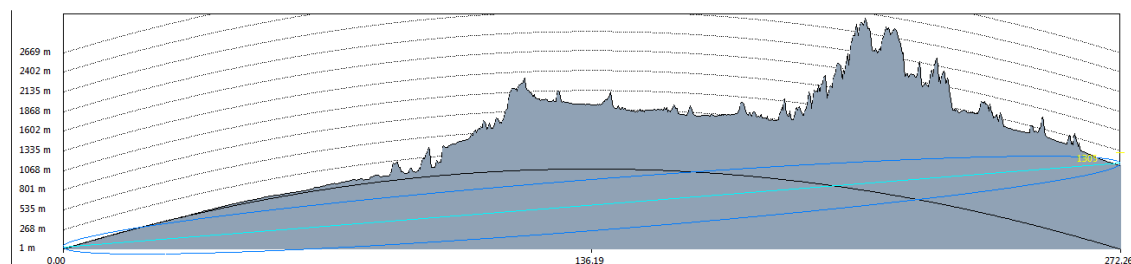


Figura 2-10: Perfil del enlace Aden-Ataq

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Aden Airport -Ataq Airport	2	1138	273	NO	SI

Tabla 2-10: Resumen posible enlace Aden-Ataq

Como se observa en el perfil del enlace obtenido, no hay línea de visión directa entre ambos puntos.

Existe una gran distancia entre ambos aeropuertos que hace que haya que salvar la curvatura de la tierra. En este caso también hay un gran desnivel (ver tabla resumen) entre ambos puntos, Aden está a nivel del mar y Ataq está a 1138 metros de altura y existen grandes obstáculos entre ambos como son picos de hasta 1300 y 2200 metros de altura.

Es necesario instalar uno o varios repetidores para interconectar los dos aeropuertos.

Se obtiene el perfil del enlace entre Aden y Taiz a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

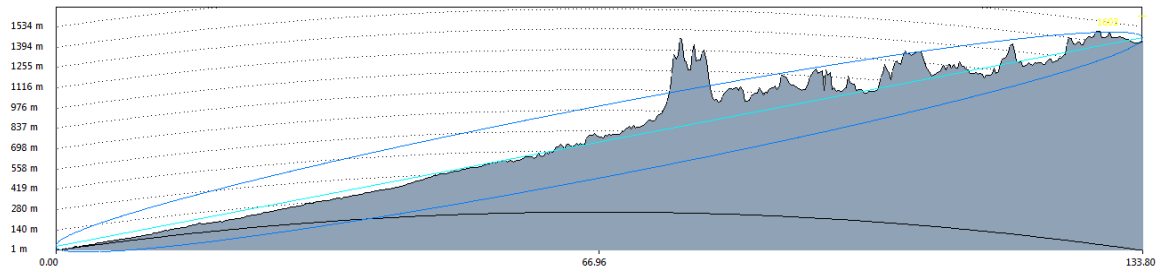


Figura 2-11: Perfil del enlace Aden-Taiz

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Aden Airport -Taiz Airport	2	1431	134	NO	SI

Tabla 2-11: Resumen posible enlace Aden-Taiz

Se observa que tampoco hay línea de visión directa entre estos aeropuertos.

El enlace no es de muy larga distancia en comparación con el anterior, pero como se indica hay un gran desnivel entre ambos puntos y hay un pico aproximadamente a unos 50 km de Taiz de unos 1200 metros de altura que junto con la curvatura de la tierra impide la línea de visión directa.

Es necesario instalar repetidores intermedios para interconectar los dos aeropuertos.

2. Al Ghaydah Airport

Según la tabla anterior, este aeropuerto tendría los enlaces de menor distancia a:

- Riyan Mukalla Airport
- Seiyun Airport

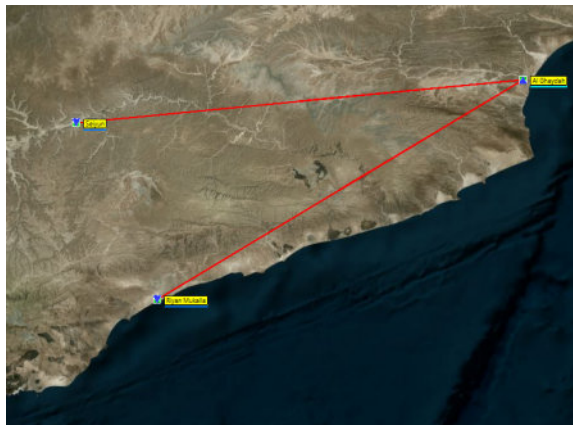


Figura 2-12: Conexión Al Ghaydah con Riyan Mukalla y Seiyun

Se obtiene el perfil del enlace entre Al Ghaydah y Riyan Mukalla a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

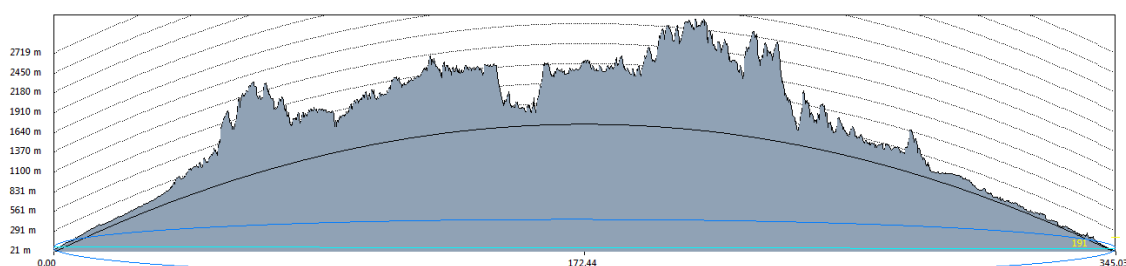


Figura 2-13: Perfil del enlace Al Ghaydah-Riyan Mukalla

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Al Ghaydah Airport-Riyan Mukalla Airport	40	21	346	NO	SI

Tabla 2-12: Resumen posible enlace Al Ghaydah-Riyan Mukalla

Se aprecia claramente que no hay línea de visión directa.

Debido a la larga distancia del enlace, se puede ver que la curvatura de la tierra haría imposible el enlace directo aunque la superficie entre ambos fuera llana. Ambos aeropuertos están a nivel del mar y entre medias hay una zona montañosa muy alta con picos de hasta 1400 y 1600 metros de altura.

Por lo tanto es necesario instalar repetidores para interconectar los dos aeropuertos y para ello se buscará el punto o puntos mejor situados que garanticen la línea de vista.

Se obtiene el perfil del enlace entre Al Ghaydah y Seiyun a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

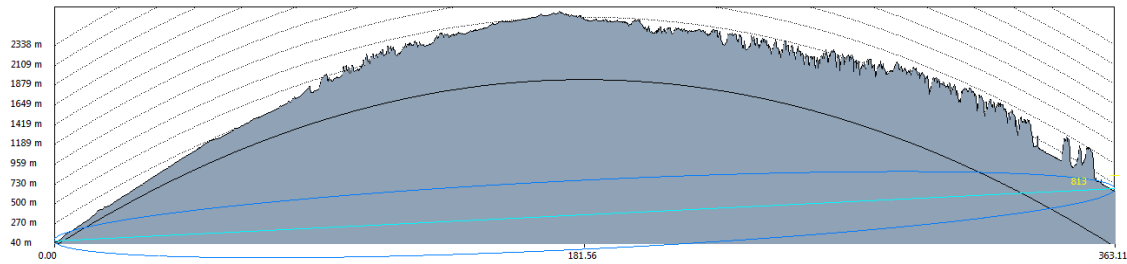


Figura 2-14: Perfil del enlace Al Ghaydah-Seiyun

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Al Ghaydah Airport-Seiyun Airport	40	643	364	NO	SI

Tabla 2-13: Resumen posible enlace Al Ghaydah-Seiyun

Se observa que no hay línea de visión directa.

En este enlace ocurre algo parecido que en el anterior, en medio hay una zona montañosa que llega hasta los 800-900 metros y aunque no son puntos demasiado altos, debido a la curvatura de la tierra que hay que salvar por la distancia del enlace, hace imposible la línea de vista entre ambos puntos aunque la superficie del terreno fuera llana.

Por lo tanto es necesario instalar repetidores para interconectar los dos aeropuertos.

3. Ataq Airport

Según la tabla anterior, este aeropuerto tendría los enlaces de menor distancia a:

- Aden International Airport
- Seiyun Airport



Figura 2-15: Conexión Ataq con Aden y Seiyun

Se obtiene el perfil del enlace entre Ataq y Aden a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

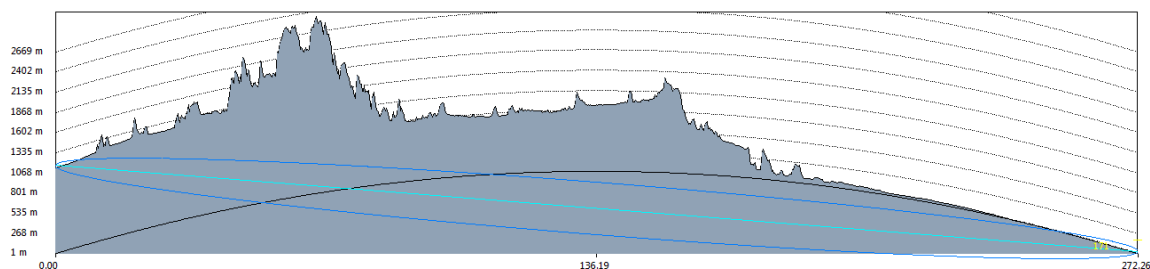


Figura 2-16: Perfil del enlace Ataq-Aden

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Ataq Airport-Aden Airport	1138	2	273	NO	SI

Tabla 2-14: Resumen posible enlace Ataq-Aden

Como ya habíamos comprobado antes, no hay línea de visión directa entre ambos puntos. Por lo tanto es necesario instalar repetidores para interconectar los dos aeropuertos.

Se obtiene el perfil del enlace entre Ataq y Seiyun a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

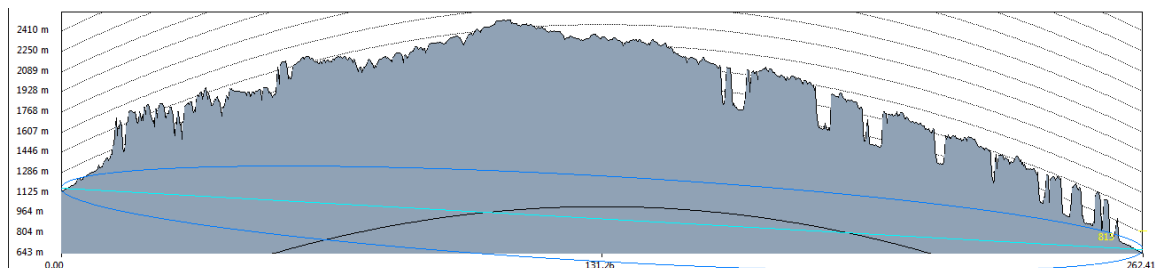


Figura 2-17: Perfil del enlace Ataq-Seiyun

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Ataq Airport-Seiyun Airport	1138	643	263	NO	SI

Tabla 2-15: Resumen posible enlace Ataq-Seiyun

Como se ve no hay línea de vista entre ambos puntos.

La distancia entre ambos aeropuertos es muy larga e implica salvar la curvatura de la tierra y además hay picos entre ambos de hasta 1500 metros, lo que supone salvar mucho desnivel desde Seiyun.

Es necesario realizar un estudio de cobertura entre ambos puntos para identificar el mejor punto o puntos donde ubicar repetidores.

4. Hodeidah Airport

Según la tabla anterior, este aeropuerto tendría los enlaces de menor distancia a:

- Sanaa International Airport
- Taiz Al Janad Airport



Figura 2-18: Conexión Hodeidah con Sanaa y Taiz

Se obtiene el perfil del enlace entre Hodeidah y Sanaa a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

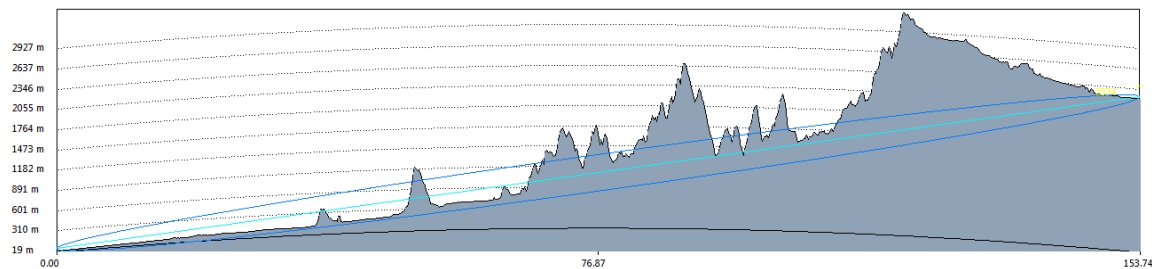


Figura 2-19: Perfil del enlace Hodeidah-Sanaa

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Hodeidah Airport-Sanaa Airport	18	2205	154	NO	SI

Tabla 2-16: Resumen posible enlace Hodeidah-Sanaa

No hay línea de vista entre ambos aeropuertos.

Vemos que Hodeidah es un punto de costa a 18 metros de altura y Sanaa por el contrario está a una altura de 2205 metros, lo que nos hace pensar que aunque el enlace no es muy largo serán necesarios varios repetidores para salvar tanto desnivel. Además se aprecia en el perfil que cerca de Sanaa hay incluso una zona montañosa mucho más alta que el propio Sanaa y que tiene una altura de hasta 3000 metros.

Se obtiene el perfil del enlace entre Hodeidah y Taiz a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

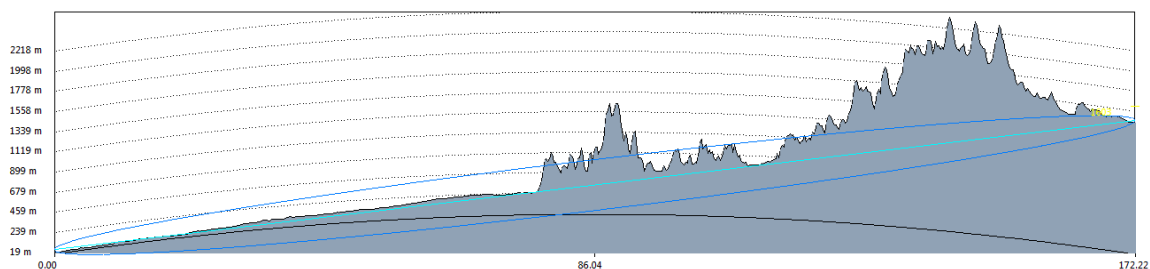


Figura 2-20: Perfil del enlace Hodeidah-Taiz

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Hodeidah Airport-Taiz Airport Airport	18	1431	173	NO	SI

Tabla 2-17: Resumen posible enlace Hodeidah-Taiz

Como se observa no hay línea de visión directa.

Pero al igual que el enlace anterior Hodeidah está en la costa y Taiz es un punto a 1431 metros de altura, por lo que hay mucho desnivel entre ambos puntos y habrá que salvarlo con uno o varios repetidores. Hay unos picos cerca de Taiz de hasta 2200 metros de altura por lo que en esta zona será difícil encontrar un punto repetidor para conectar a Taiz.

5. Riyan Mukalla Airport

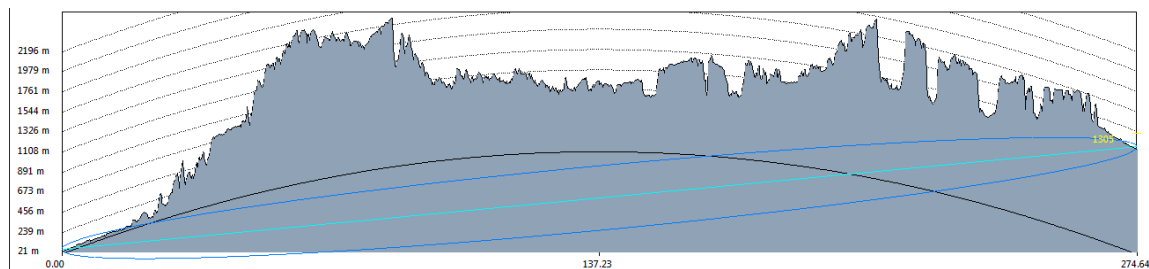
Según la tabla anterior, este aeropuerto tendría los enlaces de menor distancia a:

- Ataq Airport
- Seiyun Airport



Figura 2-21: Conexión Riyan Mukalla con Ataq y Seiyun

Se obtiene el perfil del enlace entre Riyan Mukalla y Ataq a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

**Figura 2-22: Perfil del enlace Riyan-Ataq**

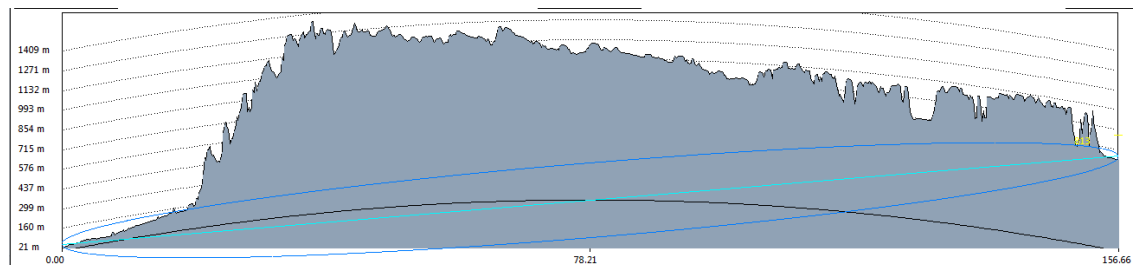
Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Riyan Mukalla Airport-Ataq Airport	21	1138	275	NO	SI

Tabla 2-18: Resumen posible enlace Riyan Mukalla-Ataq

Como se observa en el perfil del enlace, no hay línea de vista entre ambos puntos.

Existe una distancia muy larga entre ambos aeropuertos que hace que haya que salvar la curvatura de la tierra. Y además hay un gran desnivel entre ambos puntos ya que Riyan están a 21 metros y Ataq está a 1138 metros. Hay picos además de hasta 1900 metros de altura.

Se obtiene el perfil del enlace entre Aden y Seiyun a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

**Figura 2-23: Perfil del enlace Riyan-Seiyun**

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Riyan Mukalla Airport-Seiyun Airport	21	643	157	NO	SI

Tabla 2-19: Resumen posible enlace Riyan-Seiyun

Se observa que no hay línea de visión directa.

En este enlace hay que conectar Riyan que está a nivel del mar con Seiyun y cerca de Riyan hay un gran desnivel, como se observa en el perfil hay picos de hasta 1300 metros de altura.

Hay que colocar repetidores intermedios pero será mejor evitar esta zona cerca de Riyan ya que en una corta distancia hay que salvar mucho desnivel lo que implicaría poner varios repetidores muy cerca entre ellos.

6. Sanaa International Airport

Según la tabla anterior, este aeropuerto tendría los enlaces de menor distancia a:

- Hodeidah Airport
- Taiz Al Janad Airport



Figura 2-24: Conexión Sanaa con Hodeidah y Taiz

Se obtiene el perfil del enlace entre Sanaa y Hodeidah a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

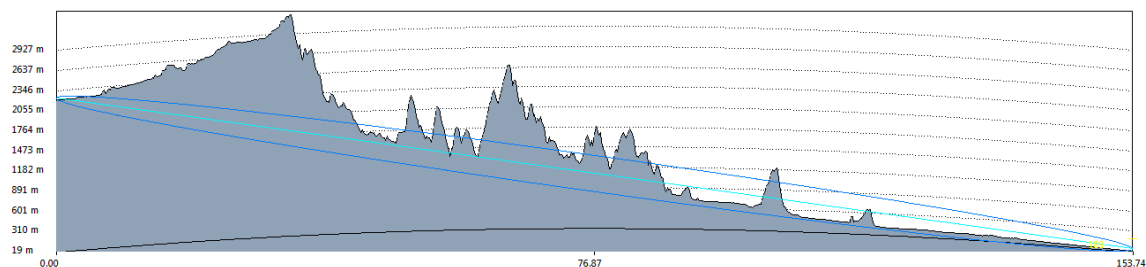


Figura 2-25: Perfil del enlace Sanaa-Hodeidah

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Sanaa Airport-Hodeidah Airport	2205	18	154	NO	SI

Tabla 2-20: Resumen posible enlace Sanaa-Hodeidah

No hay línea de visión directa entre ambos aeropuertos.

Se ha analizado las dificultades de este enlace anteriormente.

Se obtiene el perfil del enlace entre Sanaa y Taiz a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

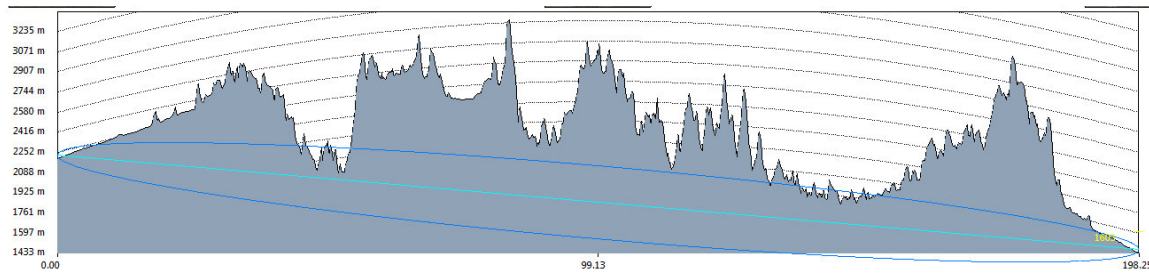


Figura 2-26: Perfil del enlace Sanaa-Taiz

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Sanaa Airport-Taiz Airport	2205	1431	199	NO	SI

Tabla 2-21: Resumen posible enlace Sanaa-Taiz

Como se puede apreciar no hay línea de vista.

Y viendo el perfil del enlace podemos deducir que hay grandes picos de hasta 2500 y 2700 metros de altura que habrá que salvar. Ambos aeropuertos pertenecen a ciudades que están en zonas montañosas y hay una cadena montañosa de gran altura entre las dos ciudades.

Son necesarios uno o varios repetidores intermedios.

7. Seiyun Airport

Según la tabla anterior, este aeropuerto tendría los enlaces de menor distancia a:

- Ataq Airport
- Riyan Mukalla Airport



Figura 2-27: Conexión Seiyun con Ataq y Riyan

Se obtiene el perfil del enlace entre Seiyun y Ataq a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

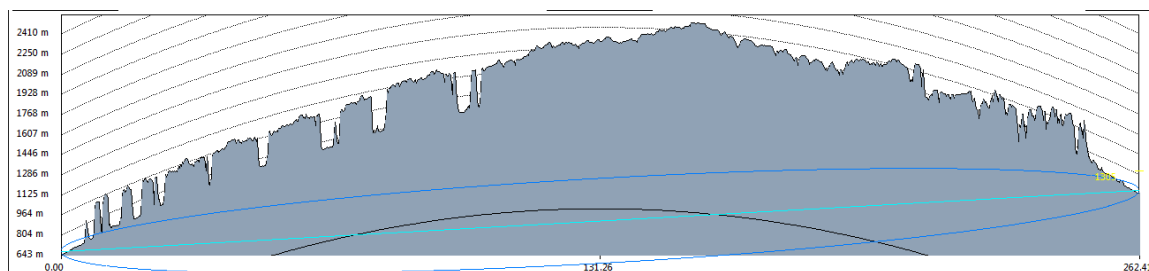


Figura 2-28: Perfil del enlace Seiyun-Ataq

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Seiyun Airport-Ataq Airport	643	1138	263	NO	SI

Tabla 2-22: Resumen posible enlace Seiyun-Ataq

Como se aprecia no hay línea de visión directa. Este enlace ya ha sido analizado anteriormente.

Son necesarios uno o varios repetidores intermedios.

Se obtiene el perfil del enlace entre Seiyun y Riyan a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

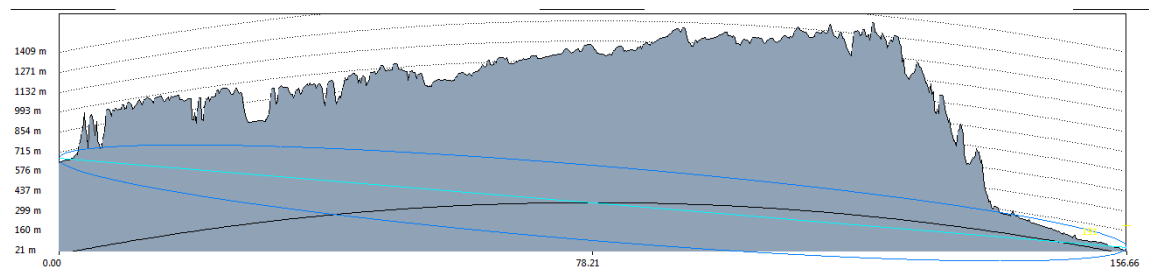


Figura 2-29: Perfil del enlace Seiyun-Riyan

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Seiyun Airport-Riyan Mukalla Airport	643	21	157	NO	SI

Tabla 2-23: Resumen posible enlace Seiyun-Riyan

Como se aprecia no hay línea de visión directa. Este enlace ya ha sido analizado anteriormente.

Son necesarios uno o varios repetidores intermedios.

8. Taiz Al Janad Airport

Según la tabla anterior, este aeropuerto tendría los enlaces de menor distancia a:

- Aden International Airport
- Hodeidah Airport



Figura 2-30: Conexión Taiz con Aden y Hodeidah

Se obtiene el perfil del enlace entre Taiz y Aden a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

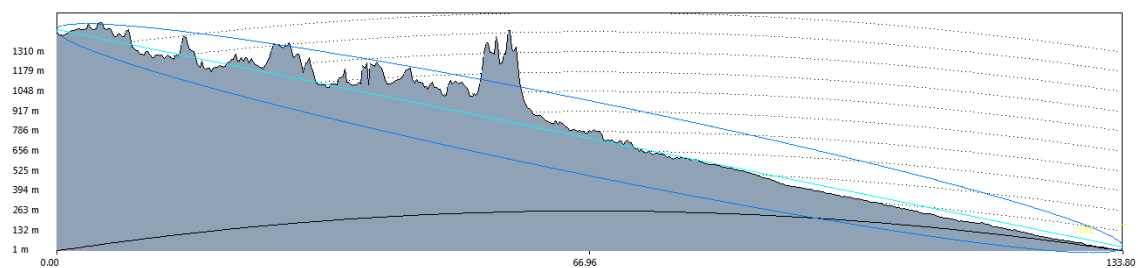


Figura 2-31: Perfil del enlace Taiz-Aden

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Taiz Airport-Aden Airport	1431	2	134	NO	SI

Tabla 2-24: Resumen posible enlace Taiz-Aden

Como se ve claramente, no hay línea de visión directa. Este enlace ya ha sido analizado anteriormente.

Son necesarios uno o varios repetidores intermedios.

Se obtiene el perfil del enlace entre Taiz y Hodeidah a una frecuencia de 170 MHz (frecuencia por defecto del software de planificación radio utilizado):

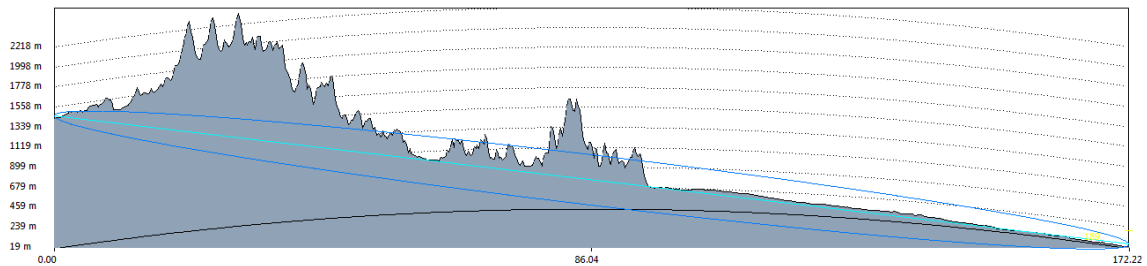


Figura 2-32: Perfil del enlace Taiz-Hodeidah

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Taiz Airport-Hodeidah Airport	1431	18	173	NO	SI

Tabla 2-25: Resumen posible enlace Taiz-Hodeidah

Como se ve claramente, no hay línea de visión directa. Este enlace ya ha sido analizado anteriormente.

Son necesarios uno o varios repetidores intermedios.

2.2.1. Resumen

Después de analizar todos los posibles enlaces, se puede extraer del análisis, que todos los enlaces necesitan de repetidores intermedios y que además Yemen presenta una orografía muy variada que nos llevará a realizar en detalle estudios de cobertura para ubicar los repetidores.

A continuación se presenta un resumen de todos los enlaces.

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Aden Airport -Ataq Airport	2	1138	273	NO	SI
Aden Airport -Taiz Airport	2	1431	134	NO	SI
Al Ghaydah Airport-Riyan Mukalla Airport	40	21	346	NO	SI
Al Ghaydah Airport-Seiyun Airport	40	643	364	NO	SI
Ataq Airport-Aden Airport	1138	2	273	NO	SI
Ataq Airport-Seiyun Airport	1138	643	263	NO	SI
Hodeidah Airport-Sanaa Airport	18	2205	154	NO	SI
Hodeidah Airport-Taiz Airport	18	1431	173	NO	SI
Riyan Mukalla Airport-Ataq Airport	21	1138	275	NO	SI
Riyan Mukalla Airport-Seiyun Airport	21	643	157	NO	SI
Sanaa Airport-Hodeidah Airport	2205	18	154	NO	SI
Sanaa Airport-Taiz Airport	2205	1431	199	NO	SI

Seiyun Airport-Ataq Airport	643	1138	263	NO	SI
Seiyun Airport-Riyan Mukalla Airport	643	21	157	NO	SI
Taiz Airport-Aden Airport	1431	2	134	NO	SI
Taiz Airport-Hodeidah Airport	1431	18	173	NO	SI

Tabla 2-26: Resumen enlaces

Capítulo 3

Arquitectura de la red

Como se puede ver en la figura, estos son los posibles enlaces analizados en el capítulo anterior.

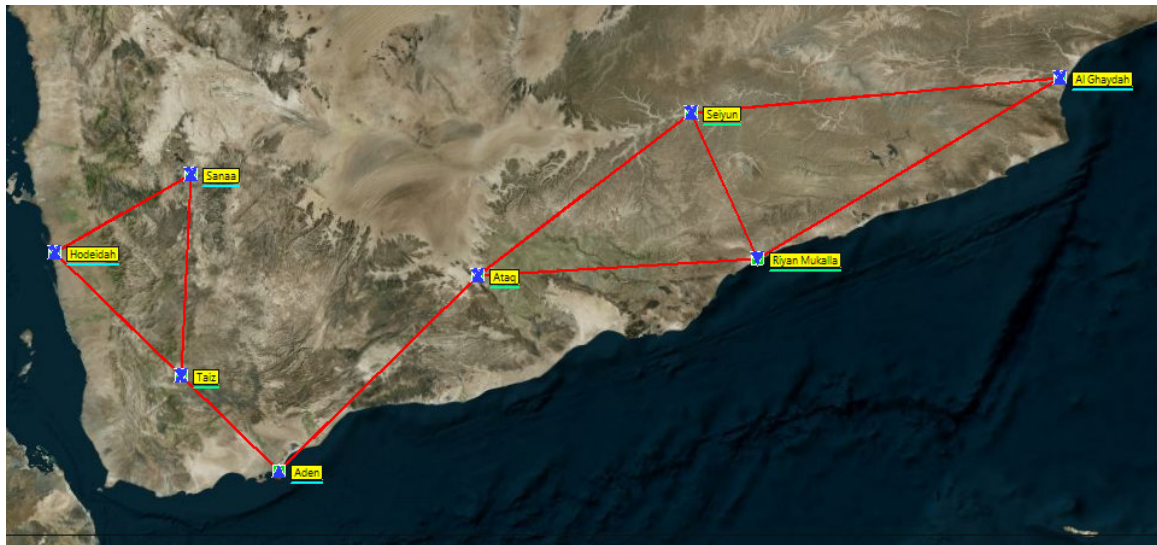


Figura 3-1: Resumen posibilidades enlaces

La zona de la derecha estaría formada por Ataq, Seiyun, Riyan y Al Ghaydah.

Después de revisar los datos de los perfiles de estos enlaces, es preocupante el desnivel que habría que salvar en una corta distancia para hacer el enlace Riyan con Ataq por lo que puesto que Riyan puede llegar a Ataq a través de Seiyun, descartamos este enlace para evitarnos problemas en conseguir la línea de vista.

La arquitectura quedaría así:

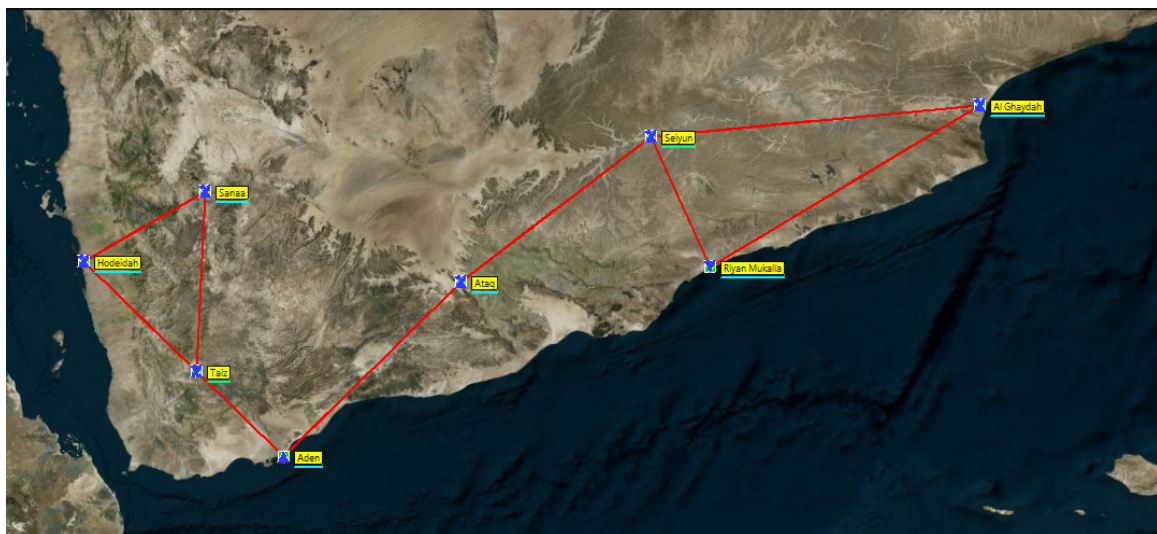


Figura 3-2: Resumen posibles enlaces

La zona de la izquierda compuesta por Sanaa, Hodeidah, Taiz y Aden estaría formada por una conexión en anillo de Taiz con Hodeidah y Sanaa; y Taiz conectaría con Aden para el intercambio de información con el resto de la red.

Para optimizar el uso de la red se baraja la opción de conectar Sanaa con Ataq con el cual formaríamos un anillo entre Aden, Taiz, Hodeidah, Sanaa y Ataq.

Aden y Sanaa son los dos aeropuertos más importantes de Yemen, puesto que Sanaa es la capital, y tanto Sanaa como Aden son aeropuertos internacionales, se requiere que estos dos aeropuertos tengan una garantía de su funcionamiento evitando al máximo los posibles errores.

Vamos a analizar los posibles escenarios con las dos configuraciones:

- Opción 1: anillo formado por Taiz, Hodeidah y Sanaa
 - Desde Seiyun quieren enviar información a Sanaa:
Si cae el enlace entre Hodeidah y Sanaa, la información podría llegar a Sanaa a través de Ataq, Aden, Taiz hasta llegar a Sanaa.
 - Desde Seiyun quieren enviar información a Aden:
Si cae el enlace entre Ataq y Aden, la información no podría llegar a Aden
- Opción 2: anillo formado por Aden, Taiz, Hodeidah, Sanaa y Ataq
 - Desde Seiyun quieren enviar información a Sanaa:
Si cae el enlace entre Hodeidah y Sanaa, la información podría llegar a Sanaa a través de Ataq hasta llegar a Hodeidah.
 - Desde Seiyun quieren enviar información a Aden:
Si cae el enlace entre Ataq y Aden, la información podría llegar a Aden a través de Ataq, Sanaa, Hodeidah y Taiz hasta llegar a Aden.

Es decir, la opción 2 evitaría que Aden o Sanaa quedaran incomunicados si pierden uno de sus enlaces a sus vecinos.

La ventaja de una arquitectura en anillo es que, para llegar a un destino se puede hacer por dos caminos diferentes, lo que hace de una red radio una topología muy segura frente a fallos con lo que aumentaría la disponibilidad de la red.

Vamos a analizar la posibilidad de conectar Sanaa con Ataq obteniendo el perfil del enlace.

3.1. Opción enlace Sanaa-Ataq

Se obtiene el perfil del enlace entre Sanaa y Ataq

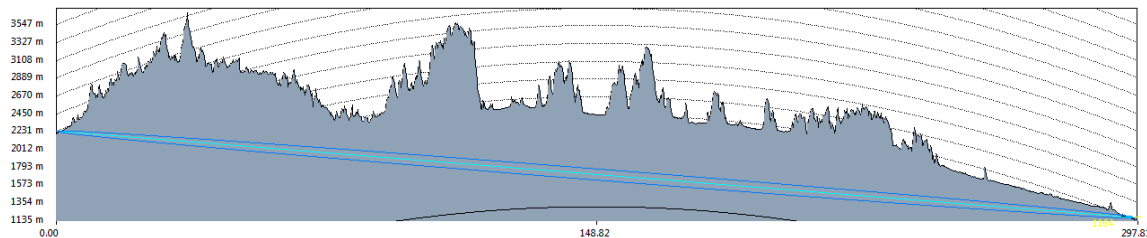


Figura 3-3: Perfil del enlace Sanaa-Ataq

Sitio 1-Sitio 2	Altura sitio 1 (m)	Altura sitio 2 (m)	Distancia (kms)	Línea de vista (LOS)	Repetidores
Sanaa Airport-Ataq Airport	2205	1138	298	NO	SI

Tabla 3-1: Resumen posible enlace Sanaa-Ataq

Como era de esperar no hay línea de vista entre los dos aeropuertos.

Al igual que otros enlaces es de muy larga distancia y tiene un gran desnivel, y cuenta con picos de hasta 3000 metros de altura.

Se trata de un perfil de enlace muy parecido al perfil de Sanaa con Taiz puesto que este enlace también discurriría por una zona montañosa.

Puesto que el enlace Sanaa con Ataq permite hacer una topología en anillo entre Ataq, Aden, Taiz, Hodeidah y Sanaa, esto permitirá como hemos comentado anteriormente que no se quede un aeropuerto incomunicado por la pérdida de un radioenlace.

Por lo que finalmente se optará por esta configuración, puesto que ofrece más ventajas que el cierre del anillo en Taiz.

3.2. Arquitectura de red final

Arquitectura final decidida para la interconexión entre los principales aeropuertos de Yemen.



Figura 3-4: Arquitectura de red

La configuración final estará formada por:

- 2 anillos:
 - Anillo Oeste, formado por:
 - Enlace Aden-Taiz,
 - Enlace Taiz-Hodeidah,
 - Enlace Hodeidah-Sanaa,
 - Enlace Sanaa-Ataq y
 - Enlace Ataq-Aden.
 - Anillo Este, formado por:
 - Enlace Seiyun- Al Ghaydah,
 - Enlace Al Ghaydah-Riyan Mukalla y
 - Enlace Riyan-Seiyun
- 1 enlace central que une los dos anillos , Ataq Airport y Seiyun Airport

Sitio 1	Coordenadas sitio 1	Sitio 2	Coordenadas sitio 2	Distancia (km)	Línea de vista (LOS)
Aden International Airport	12°49'57.6"N 45° 1'33.4"E	Taiz Al Janad Airport	13°40'14.2"N 44° 8'6.1"E	134	NO
Taiz Al Janad Airport	13°40'14.2"N 44° 8'6.1"E	Hodeidah Airport	14°45'10.6"N 42°59'15.3"E	173	NO
Hodeidah Airport	14°45'10.6"N 42°59'15.3"E	Sanaa International Airport	15°27'34.7"N 44°13'11.7"E	154	NO

Sanaa International Airport	15°27'34.7"N 44°13'11.7"E	Ataq Airport	14°33'8.4"N 46°49'38.6"E	298	NO
Ataq Airport	14°33'8.4"N 46°49'38.6"E	Aden International Airport	12°49'57.6"N 45° 1'33.4"E	273	NO
Ataq Airport	14°33'8.4"N 46°49'38.6"E	Seiyun Airport	15°57'47.4"N 48°47'17.7"E	263	NO
Seiyun Airport	15°57'47.4"N 48°47'17.7"E	Al Ghaydah Airport	16°11'23.3"N 52°9'39.4"E	364	NO
Al Ghaydah Airport	16°11'23.3"N 52°9'39.4"E	Riyan Mukalla Airport	14°40'6.7"N 49°22'15.4"E	346	NO
Riyan Mukalla Airport	14°40'6.7"N 49°22'15.4"E	Seiyun Airport	15°57'47.4"N 48°47'17.7"E	157	NO

Tabla 3-2: Conexión entre aeropuertos

Capítulo 4

Diseño de radioenlaces

Como hemos visto en los capítulos anteriores para conectar los aeropuertos entre sí son necesarios repetidores intermedios.

Para buscar el mejor punto donde colocar los repetidores, es necesario tener en cuenta la orografía del terreno por lo que se realizará un estudio de cobertura.

Con los emplazamientos en los aeropuertos y los puntos repetidores localizados, se diseñará cada vano teniendo en cuenta la banda de frecuencias, para ello se obtendrán los perfiles y los balances de cada enlace para comprobar la viabilidad.

Posteriormente se hará un estudio de interferencias con un plan de frecuencias propuesto y se verificará la disponibilidad de la red con el diseño resultante.

4.1. Búsqueda de repetidores

Esto se hará con una herramienta software de planificación radio (ICS Designer de ATDI) y en concreto, para este estudio se ha seleccionado mapas con resolución de 50 metros.

Utilizando esta herramienta software buscaremos las zonas de cobertura comunes entre ambos emplazamientos para ubicar los repetidores intermedios.

Para el estudio de cobertura se va a colocar cada aeropuerto en el mapa según las coordenadas de la tabla anterior y se va a suponer en términos generales que la antena está a una altura de 20 metros y que el punto donde ubicar la antena receptora, en este caso el repetidor, estará a una altura también de 20 metros.

Por ejemplo, según se muestra en la siguiente figura se han configurado los parámetros de Aden Airport:

- altura de la antena
- nombre de la estación TX/RX
- el resto de parámetros que aparecen se han dejado por defecto

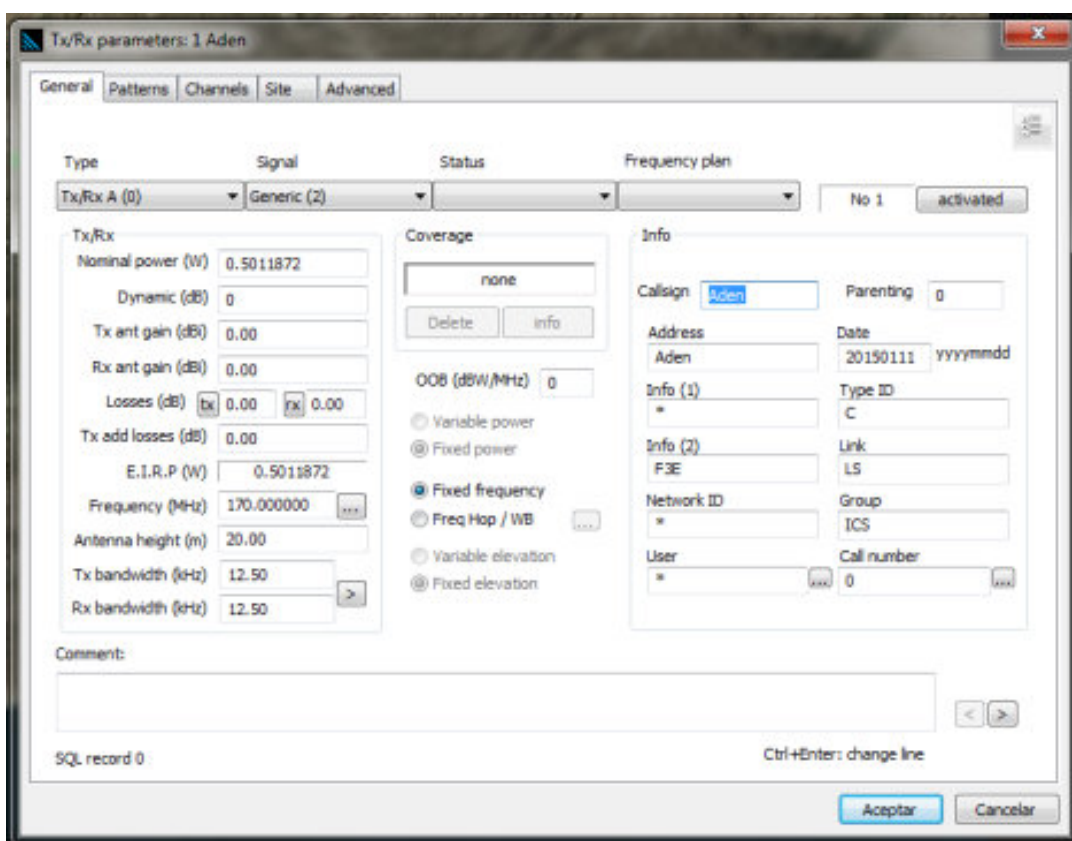


Figura 4-1: Configuración altura antena Aden en ICS Designer

A continuación se ha introducido en la pestaña “Site” las coordenadas. El resto de pestañas y parámetros se han dejado por defecto.

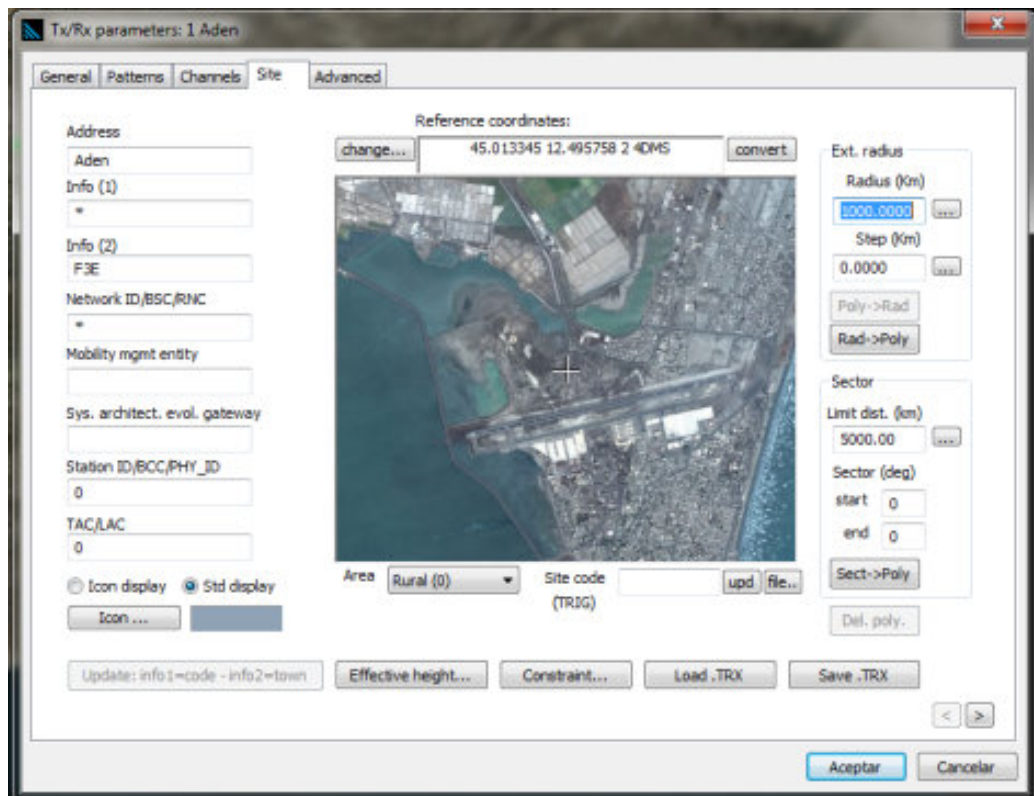


Figura 4-2: Configuración coordenadas Aden en ICS Designer

En el caso de Taiz, se ha realizado la misma configuración para las pestañas “General” y “Site”.

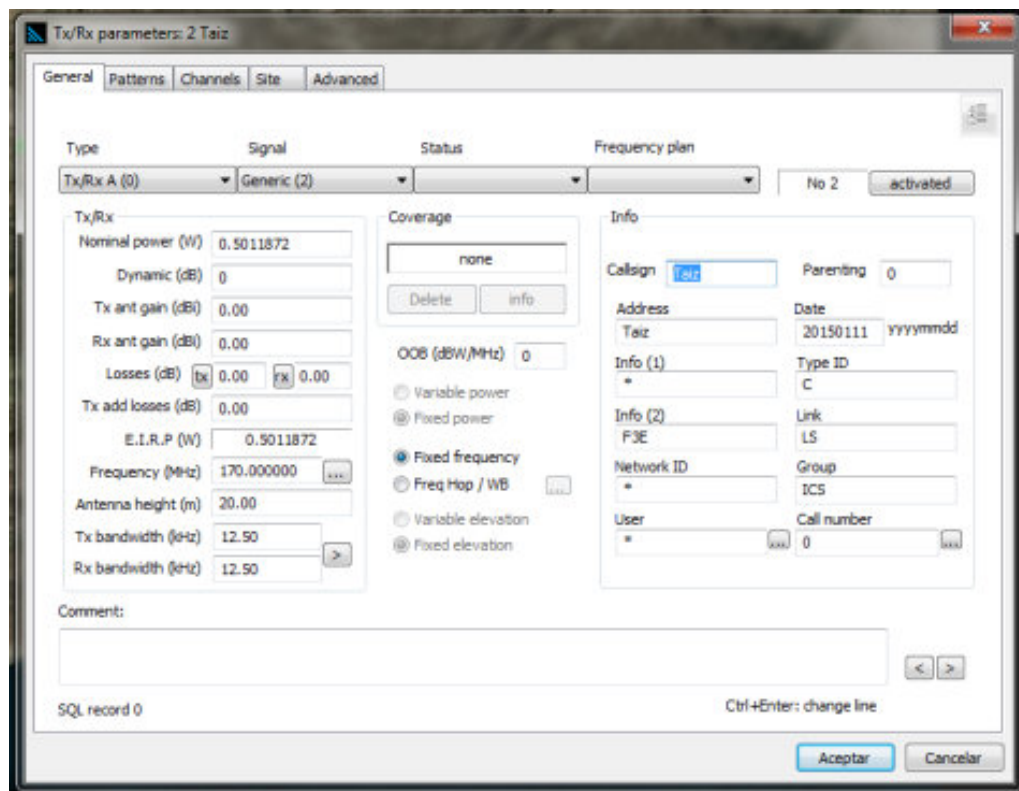


Figura 4-3: Configuración altura antenna Taiz en ICS Designer

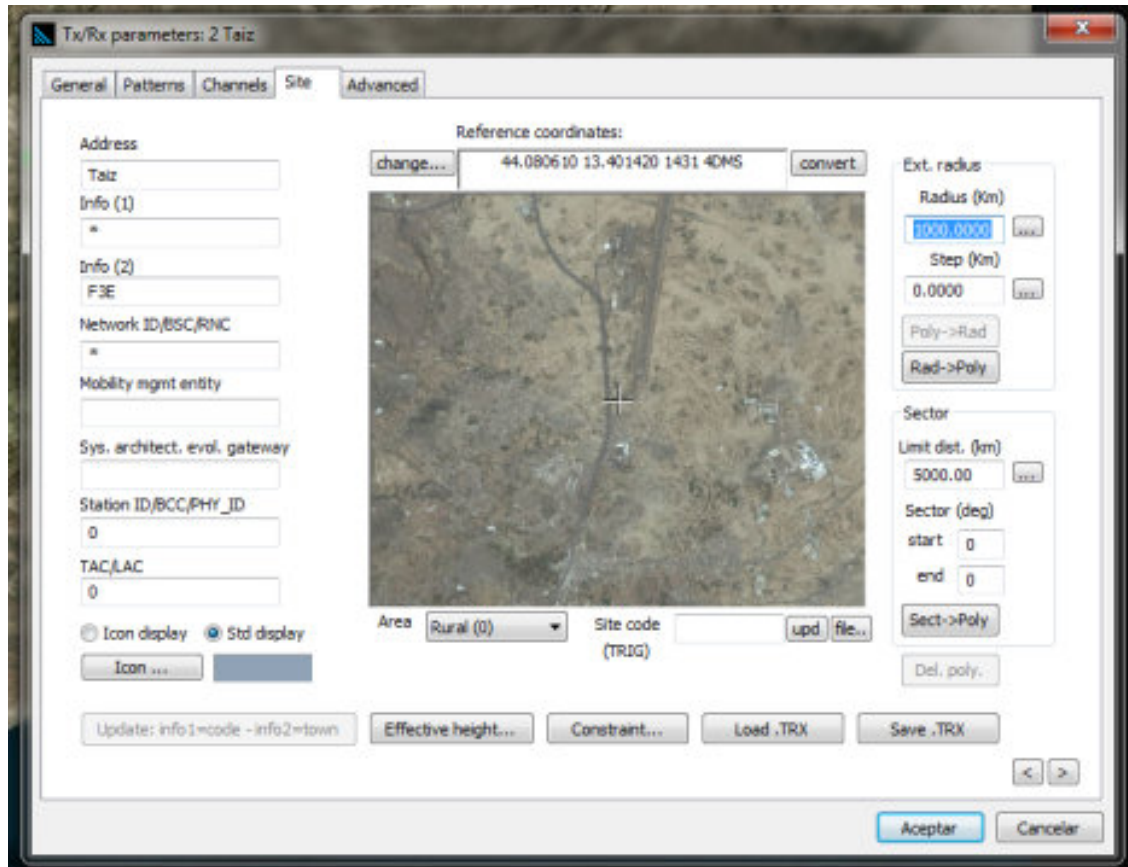


Figura 4-4: Configuración coordenadas Taiz en ICS Designer

4.1.1. Estudio de cobertura Aden-Taiz

Se realiza el estudio de cobertura entre Aden y Taiz con el software de planificación radio suponiendo altura antena a 20 metros en Aden y antena receptora también a 20 metros.

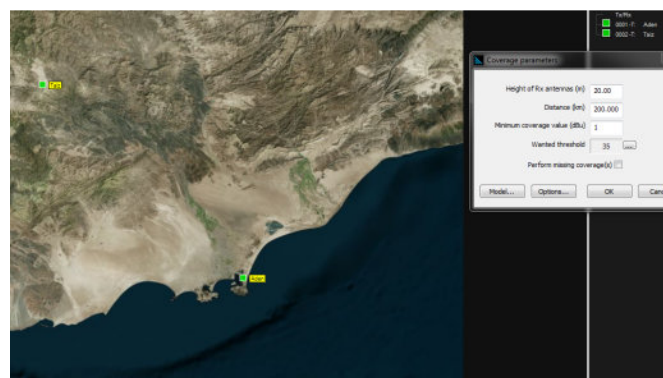


Figura 4-5: Configuración altura antena receptora a 20 metros

En la pestaña “Coverage parameters” de la figura se selecciona el botón “OK” y se obtiene el siguiente resultado.

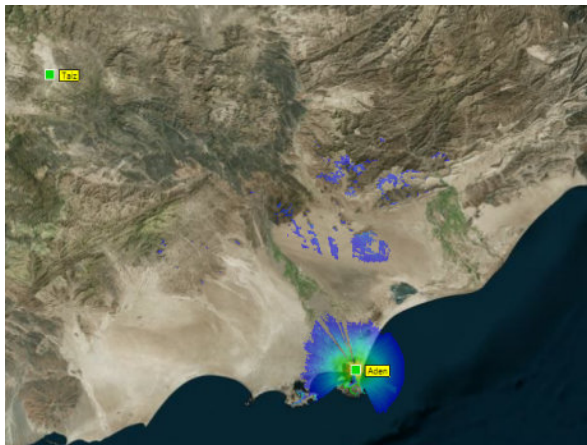


Figura 4-6: Cobertura Aden

Como era de esperar no hay línea de vista con Taiz.

Se obtiene la cobertura en Taiz siguiendo el mismo procedimiento con antena a 20 metros de altura y suponiendo altura antena receptora también a 20 metros.

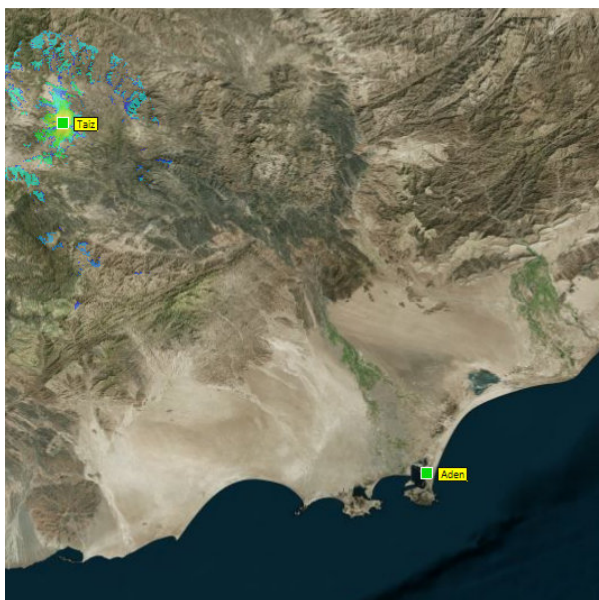


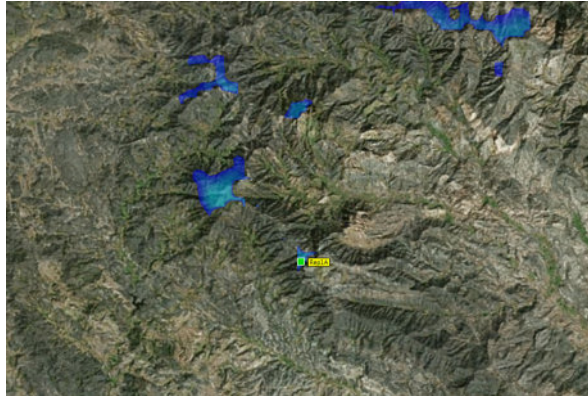
Figura 4-7: Cobertura Taiz

Como vemos Taiz tiene una cobertura mucho más reducida que Aden, ya en el perfil del enlace se comprobó que había una zona montañosa cerca de Taiz.

Puesto que Taiz tiene esta dificultad, buscamos un punto repetidor en la cobertura de Taiz que sea mayor que el pico que vimos en el perfil que bloqueaba la línea de vista directa con Aden (es decir, un pico mayor de 1200 metros).

De esta manera intentaremos buscar dentro de la cobertura de Taiz (sombreado azul) un punto que sea mayor de 1200 metros y que al seguir con la línea de vista hacia Aden no tenga picos muchos más altos que impidan el enlace.

Por ejemplo en esta zona sombreada en azul con cobertura, vemos que hay puntos de aproximadamente 1800 metros de altura pero que hacia Aden disminuiría la altura del terreno.

**Figura 4-8: Repetidor 1A**

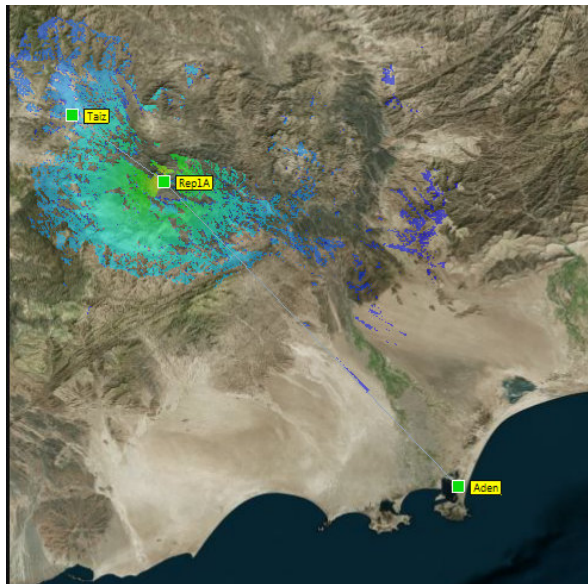
Las coordenadas (latitud, longitud) y altura del Repetidor 1A son las siguientes:

	Rep1A
Latitud (Norte)	13° 31' 14.8"
Longitud (Este)	44° 20' 50.2"
Altura (metros)	1783

Tabla 4-1: Ubicación Rep1A

Configuramos esta estación con los mismos parámetros que Aden y Taiz, es decir, con altura de antena a 20 metros.

A continuación, obtenemos la cobertura de Rep1A para determinar si tiene línea de vista con Aden, para ello configuramos la altura de la antena receptora a 20 metros.

**Figura 4-9: Cobertura Rep1A**

Aunque con la cobertura obtenida parece que Rep1A tiene línea de vista con Taiz y no con Aden, se comprueba con el perfil del enlace porque puede ser debido a la distancia que hay de Rep1A a Aden y a la configuración por defecto de los parámetros de Rep1A, ya que la altura del relieve desde Rep1A hasta Aden disminuye considerablemente y lógicamente no debería haber problemas de línea de vista.

Para asegurarnos analizamos los perfiles y el despejamiento de la zona de Fresnel:

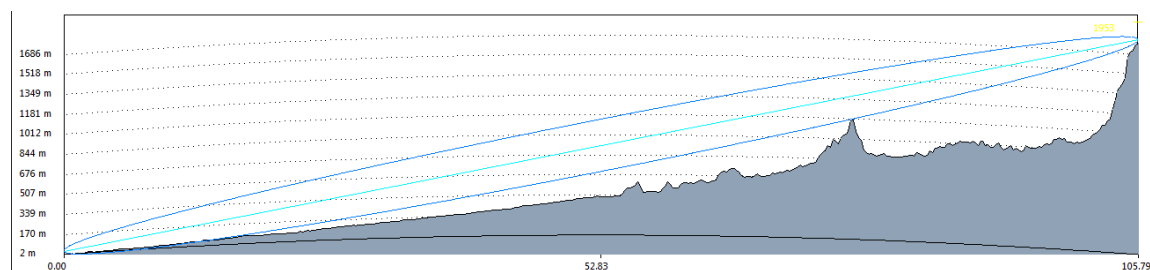


Figura 4-10: Perfil del enlace Aden-Rep1A

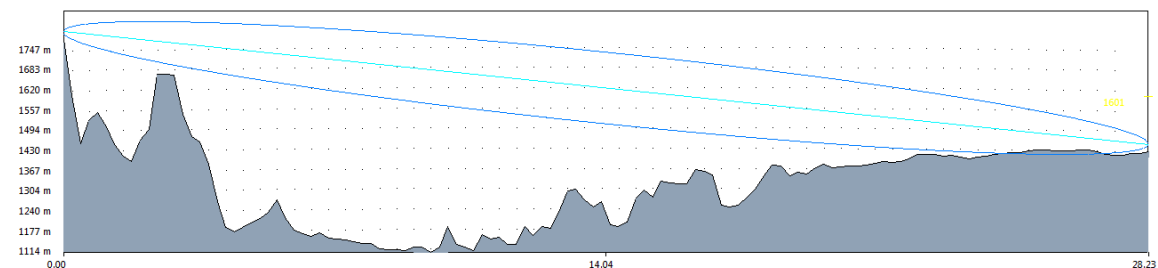


Figura 4-11: Perfil del enlace Rep1A-Taiz

Verificamos que no hay problemas de línea de vista entre Aden y Rep1A, pero parece que puede haber problemas con la zona de Fresnel del enlace de Rep1A y Taiz. Hay que tener en cuenta que las zonas de Fresnel dependen de la frecuencia, y que a mayor frecuencia la zona de Fresnel se ve reducida. Este perfil se ha obtenido usando una frecuencia de 170 MHz y en fases de diseño posteriores se podrá comprobar que al utilizar la banda de frecuencias en microondas la zona de Fresnel disminuye considerablemente.



Figura 4-12: Enlace Aden con Taiz a través del repetidor Rep1A

4.1.2. Estudio de cobertura Taiz-Hodeidah

Se realiza el mismo procedimiento del apartado anterior para el estudio de cobertura del enlace Taiz con Hodeidah.

Se configuran los parámetros de Taiz y Hodeidah (altura antena a 20 metros y coordenadas) en el software de planificación radio.

Se obtiene la cobertura en Taiz como en el apartado anterior, con la antena receptora a 20 metros de altura.

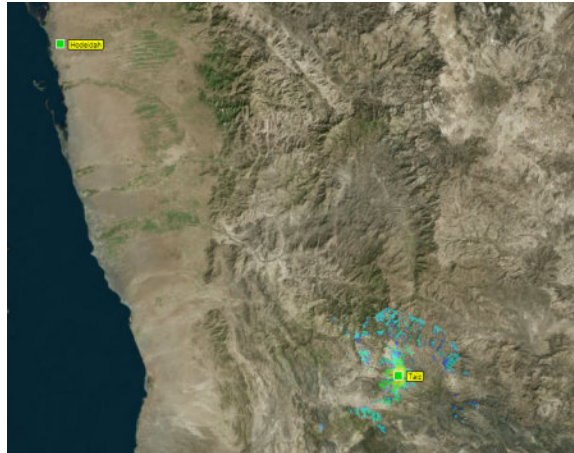


Figura 4-13: Cobertura Taiz

La distancia entre Taiz y Hodeidah es de 173 kilómetros, analizando el perfil del enlace del apartado anterior vemos que hay varios picos conflictivos cerca de Taiz que habrá que salvar. Son picos de unos 2200 metros, mucho más altos que Taiz.

Se obtiene la cobertura en Hodeidah con antena receptora a 20 metros.

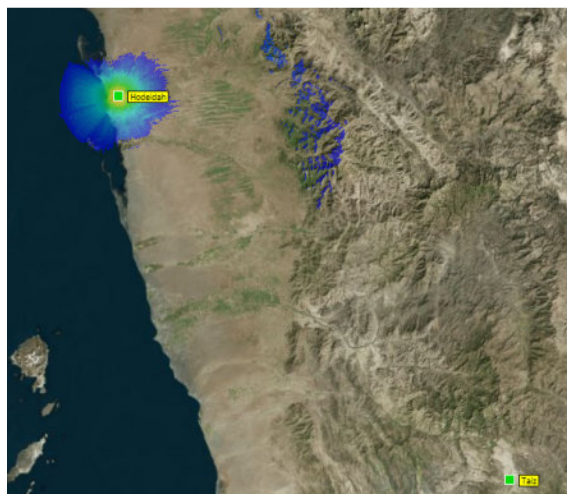


Figura 4-14: Cobertura en Hodeidah.

Se va a buscar un punto repetidor a partir de Hodeidah que tiene mejor cobertura, intentando no ubicarlos en picos muy altos y evitando un gran desnivel en cortas distancias para asegurar la línea de vista.

Buscamos un punto dentro de la cobertura (sombreado azul) que veamos que al seguir con la línea de vista hacia Taiz no tenga picos muchos más altos que impidan el enlace.

Por ejemplo en esta zona sombreada en azul de cobertura, con la línea de vista hacia Taiz no hay puntos más altos, sino que más o menos son iguales de altura o más bajos.

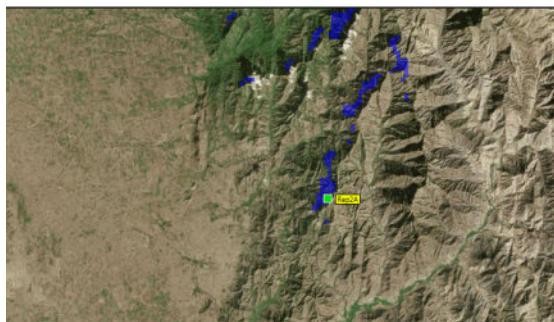


Figura 4-15: Ubicación Rep2A.

Las coordenadas (latitud, longitud) y altura del Repetidor 2A son las siguientes:

	Rep2A
Latitud (Norte)	14° 26' 47.6''
Longitud (Este)	43° 34' 36.8''
Altura (metros)	1309

Tabla 4-2: Ubicación Rep2A

Se configura este repetidor con los mismos parámetros que los puntos anteriores y se obtiene la cobertura con altura antena receptora a 20 metros.

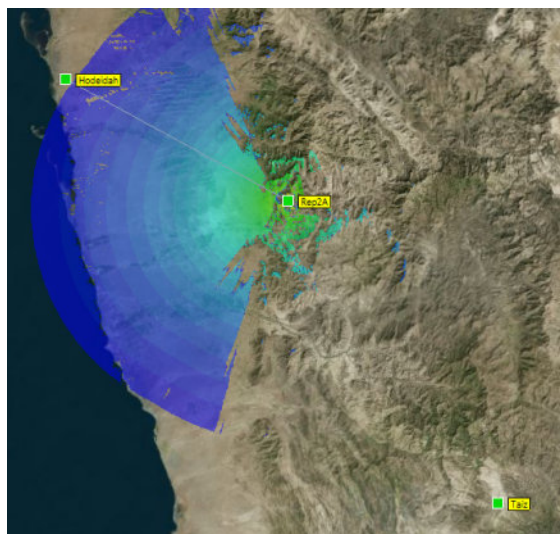


Figura 4-16: Cobertura Rep2A.

Podemos ver que aún no existe línea de vista con Taiz, por lo que seguimos el mismo procedimiento para buscar otro repetidor.

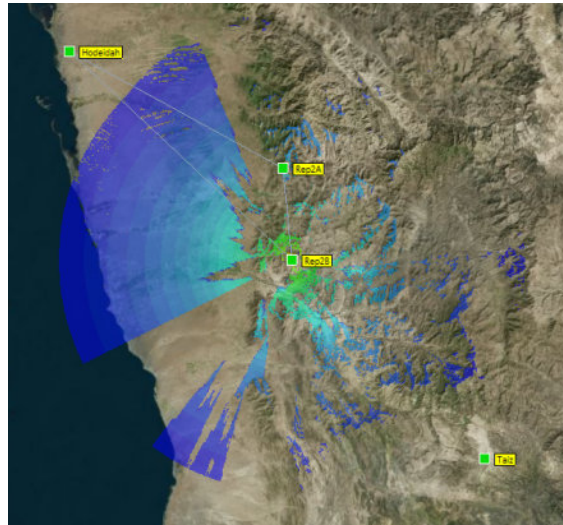
Buscamos un punto en el sombreado azul que indica la cobertura de Rep2A.

Se obtiene el Rep2B:

	Rep2B
Latitud (Norte)	14°12'3.6''
Longitud (Este)	43° 36'11.4''
Altura (metros)	1533

Tabla 4-3: Ubicación Rep2B

Se configuran los mismos parámetros en este punto y se obtiene la cobertura con altura de antena receptora a 20 metros.

**Figura 4-17: Cobertura Rep2B.**

Aún no hay línea de vista con Taiz, pero por lo que vemos si es posible que tenga línea de vista con Hodeidah, por lo que más adelante lo comprobaremos analizando el perfil.

Buscamos otro punto repetidor. (En la cobertura de sombreado azul del Rep2B)

Teniendo en cuenta que Taiz está a una altura de 1431 metros y que el Rep2B está a una altura de 1533 m, en la línea de visión del Rep2B hacia Taiz vemos que delante de Taiz hay picos más altos que éste (aproximadamente de 1500 y 1600 metros) aunque también hay algún pico a la misma altura, intentamos buscar un repetidor en la zona de sombreado azul que vaya a pasar por la línea de vista por estos puntos más bajos para que los picos altos no hagan de obstáculo para llegar a Taiz. Ya que vemos que la cobertura de Taiz (dibujo anterior) es muy mala.

Localizamos el siguiente punto:

	Rep2C
Latitud (Norte)	13°45'5.5"
Longitud (Este)	43° 47'21.7"
Altura (metros)	1718

Tabla 4-4: Ubicación Rep2C

Se obtiene la cobertura del Rep2C con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

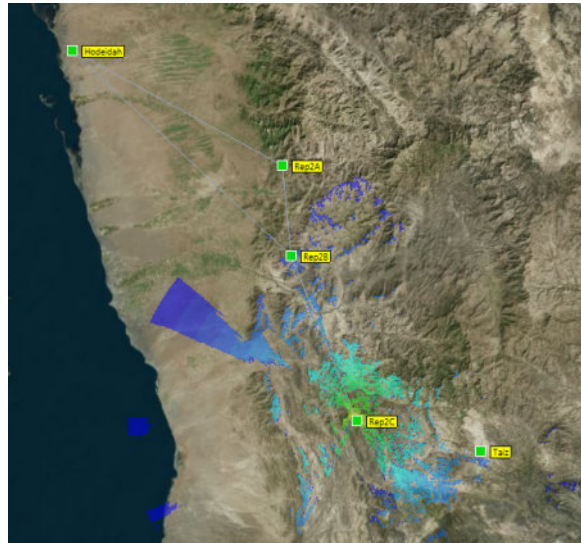


Figura 4-18: Cobertura Rep2C

Aún no hay línea de visión con Taiz, buscamos otro punto repetidor.

	Rep2D
Latitud (Norte)	13°40'29.0"
Longitud (Este)	44° 5'19.5"
Altura (metros)	1595

Tabla 4-5: Ubicación Rep2D

Se obtiene la cobertura del Rep2D.



Figura 4-19: Cobertura Rep2D

A simple vista, parece que podemos tener línea de visión con Taiz. Para asegurarnos, analizamos los perfiles y el despejamiento de la Zona de Fresnel.

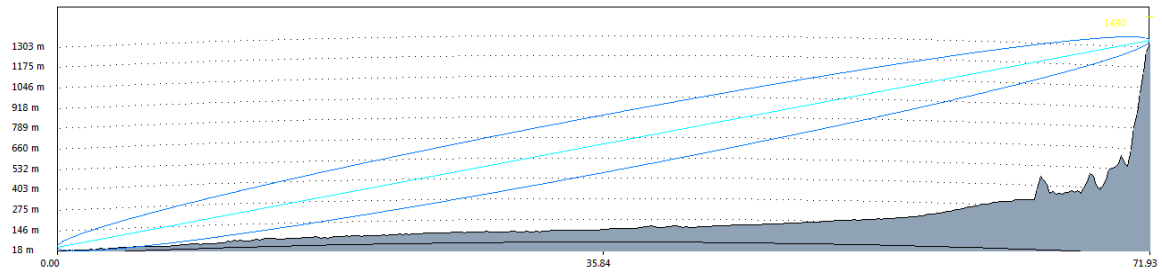


Figura 4-20: Perfil del enlace Hodeidah-Rep2A

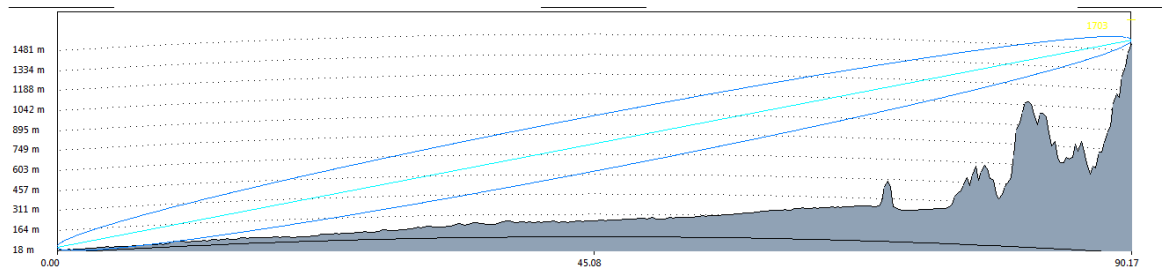


Figura 4-21: Perfil del enlace Hodeidah-Rep2B

Verificamos que hay línea de vista entre estos dos puntos, por tanto eliminamos el repetidor 2A y volvemos a enumerar los repetidores, pasando a ser el Rep2B el Rep2A, el Rep2C el Rep2B y el Rep2D el Rep2C.

	Rep2A
Latitud (Norte)	14°12'3.6"
Longitud (Este)	43° 36'11.4"
Altura (metros)	1533

Tabla 4-6: Ubicación Rep2A

	Rep2B
Latitud (Norte)	13°45'5.5"
Longitud (Este)	43° 47'21.7"
Altura (metros)	1718

Tabla 4-7: Ubicación Rep2B

	Rep2C
Latitud (Norte)	13°40'29.0"
Longitud (Este)	44° 5'19.5"
Altura (metros)	1595

Tabla 4-8: Ubicación Rep2C

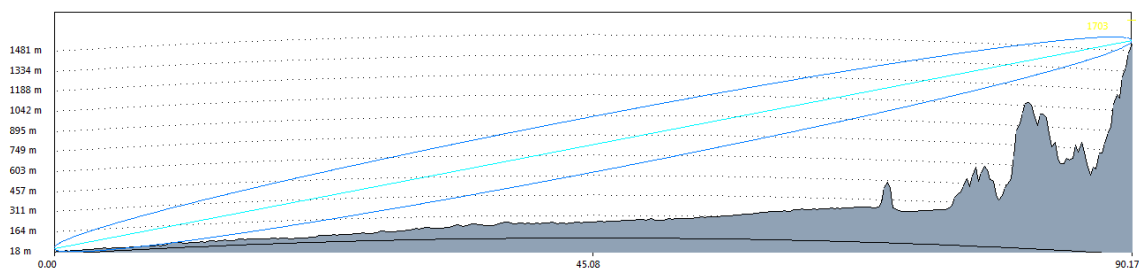


Figura 4-22: Perfil del enlace Hodeidah-Rep2A

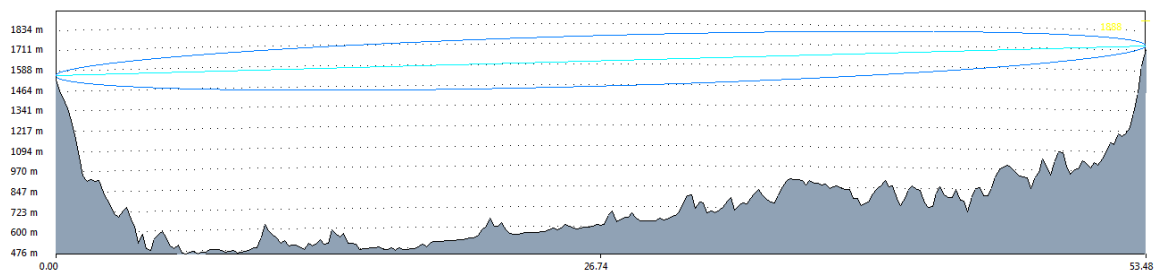


Figura 4-23: Perfil del enlace Rep2A-Rep2B

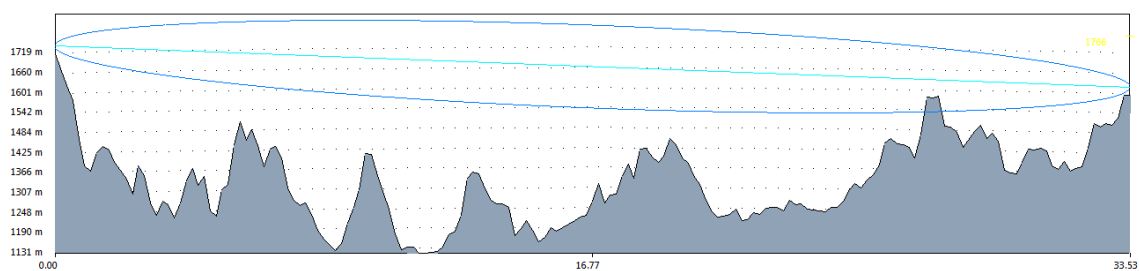


Figura 4-24: Perfil del enlace Rep2B-Rep2C

Según la figura, puede haber problemas en un pico con la primera zona de Fresnel. Hay que tener en cuenta que las zonas de Fresnel dependen de la frecuencia, y que a mayor frecuencia la zona de Fresnel se ve reducida. Este perfil se ha obtenido usando una frecuencia de 170 MHz y en fases de diseño posteriores se podrá comprobar que al utilizar la banda de frecuencias en microondas la zona de Fresnel disminuye considerablemente.

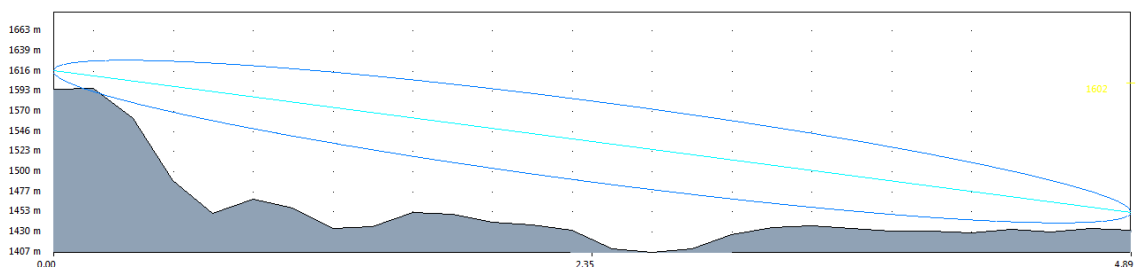


Figura 4-25: Perfil del enlace Rep2C-Taiz



Figura 4-26: Enlace Taiz con Hodeidah a través de repetidores intermedios

4.1.3. Estudio de cobertura Hodeidah-Sanaa

Se realiza el estudio de cobertura entre Hodeidah y Sanaa siguiendo el mismo procedimiento que los casos anteriores. Y se configuran los parámetros por defecto de ambos sitios con altura antena a 20 metros y altura antena receptora a 20 metros.

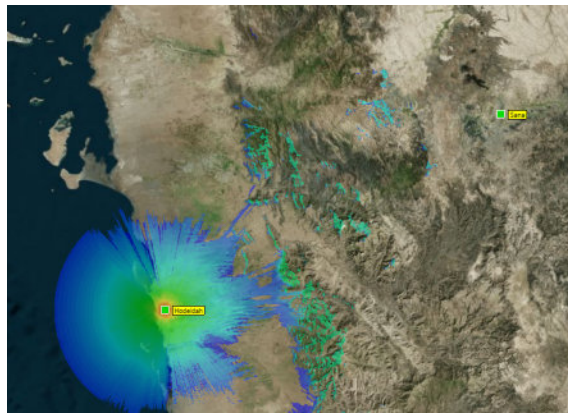


Figura 4-27: Cobertura de Hodeidah

Como ya sabíamos no tiene línea de vista con Sanaa.

Analizando el perfil de elevación obtenido en el apartado anterior, vemos que el enlace es de 153 km y que hay justo una zona montañosa muy elevada cerca de Sanaa de unos 2900-3000 metros de altura.

Se obtiene la cobertura en Sanaa con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.

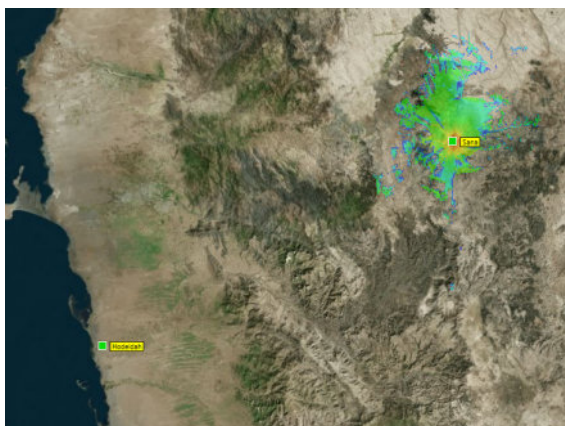


Figura 4-28: Cobertura de Sanaa

Se va a buscar un punto repetidor a partir de Hodeidah que tiene mejor cobertura, siguiendo el mismo procedimiento que en los puntos anteriores.

Se obtiene el siguiente punto:

	Rep3A
Latitud (Norte)	15° 7' 44.5''
Longitud (Este)	43° 43' 18.7''
Altura (metros)	2235

Tabla 4-9: Ubicación Rep3A

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

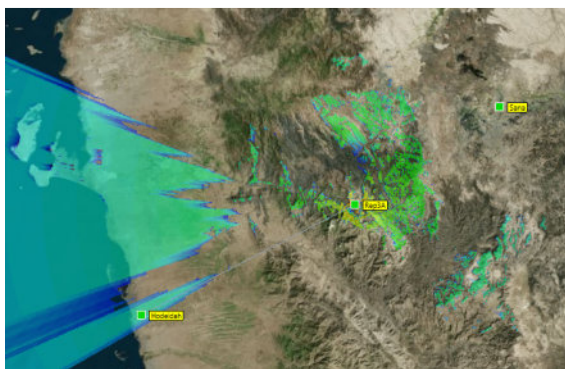


Figura 4-29: Cobertura de Rep3A

Se observa que no existe cobertura con Sanaa, buscamos otro punto repetidor.

En la cartografía se puede ver que se va a tener que ubicar en este enlace un repetidor en puntos altos a 2000 y 2200 metros de altura, ya que Sanaa está bastante alto y hay que salvar el desnivel. Además, justo delante de Sanaa como ya comprobamos en el perfil del enlace, hay una zona montañosa entre 2600 y 3000 metros de altura.

Se obtiene el siguiente punto:

	Rep3B
Latitud (Norte)	15° 11' 52.2''
Longitud (Este)	43° 59' 23.4''

Altura (metros)	2977
-----------------	------

Tabla 4-10: Ubicación Rep3B

Se calcula la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

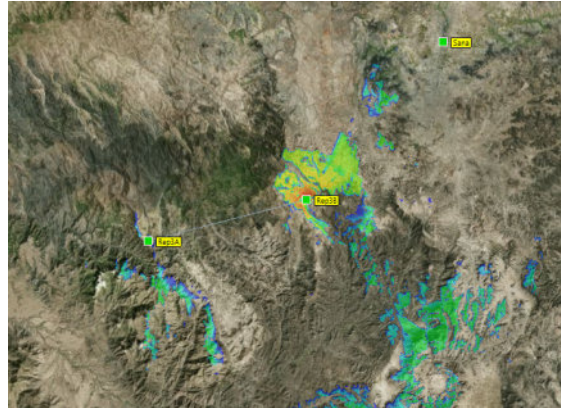


Figura 4-30: Cobertura de Rep3B

Se sigue sin tener cobertura con Sanaa, buscamos otro punto repetidor.

	Rep3C
Latitud (Norte)	15° 22' 11.7"
Longitud (Este)	44° 8' 31.7"
Altura (metros)	2691

Tabla 4-11: Ubicación Rep3C

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

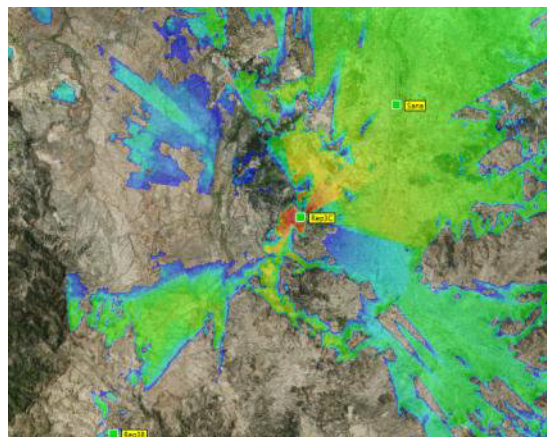


Figura 4-31: Cobertura de Rep3C

Ya tenemos línea de visión con Sanaa.

Comprobamos los perfiles de los enlaces y el despejamiento de la Zona de Fresnel para ver que no hay problemas de visibilidad.

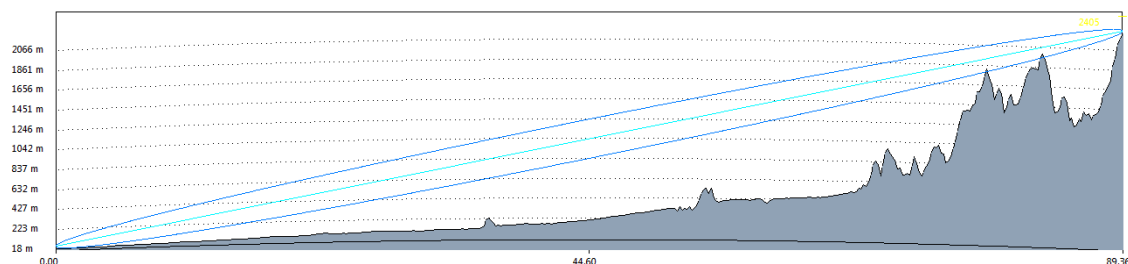


Figura 4-32: Perfil del enlace Hodeidah-Rep3A

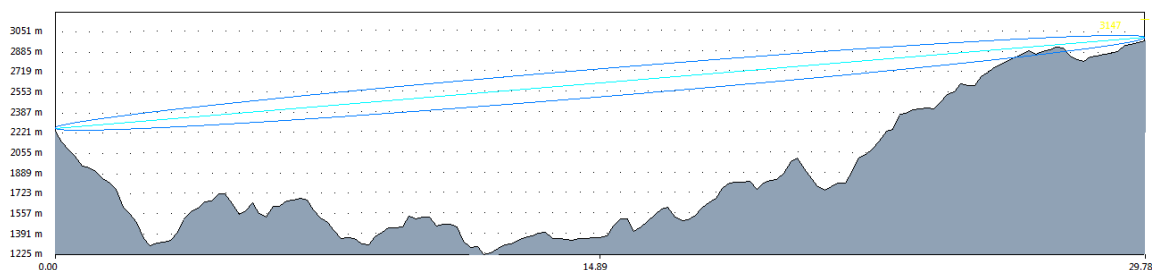


Figura 4-33: Perfil del enlace Rep3A-Rep3B

En este perfil, se observa que se puede tener problemas cerca de Rep3B con la primera zona de Fresnel. Hay que tener en cuenta que las zonas de Fresnel dependen de la frecuencia, y que a mayor frecuencia la zona de Fresnel se ve reducida. Este perfil se ha obtenido usando una frecuencia de 170 MHz y en fases de diseño posteriores se podrá comprobar que al utilizar la banda de frecuencias en microondas la zona de Fresnel disminuye considerablemente.

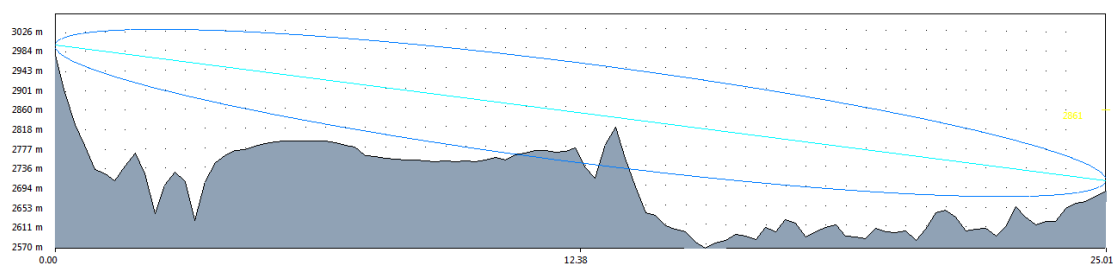


Figura 4-34: Perfil del enlace Rep3B-Rep3C

En este enlace también se observa que puede haber problemas con la primera zona de Fresnel, se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias de microondas.

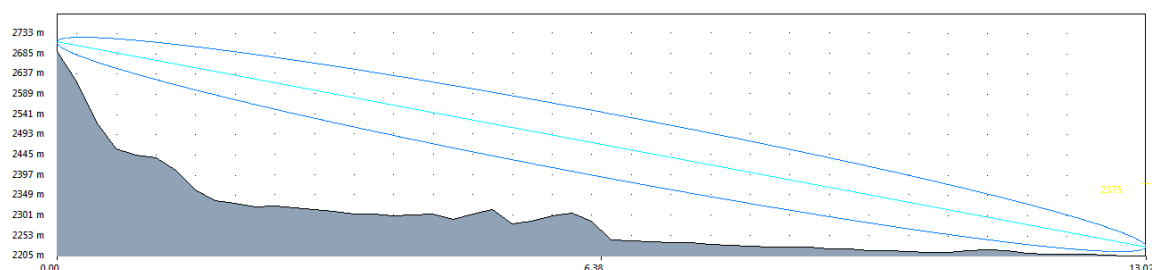


Figura 4-35: Perfil del enlace Rep3C-Sanaa



Figura 4-36: Enlace Hodeidah con Sanaa a través de repetidores

4.1.4. Estudio de cobertura Saná-Ataq

Se sigue con el mismo procedimiento, se obtiene la cobertura en Sanaa con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.



Figura 4-37: Cobertura Sanaa

Se observa que no hay cobertura con Ataq, analizando el perfil del apartado anterior se comprobó que hay una gran zona montañosa entre ambos puntos con picos de altura de hasta 3100 metros y la distancia del enlace es muy larga (298 km).

Sobre todo se da que los picos más altos están más próximos a Saná, y hay que salvar un desnivel entre ambos aeropuertos de unos 1000 metros porque Sanaa está a 2205 metros de altura y Ataq a 1138.

Analizamos la cobertura de Ataq para ver qué resultados obtenemos.

Cobertura en Ataq con altura antena a 20 metros y suponiendo altura antena receptora a 20 metros.

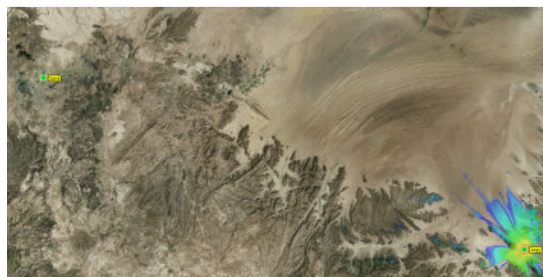


Figura 4-38: Cobertura Ataq

Buscamos un repetidor a partir de la cobertura de Ataq (siguiendo el procedimiento descrito en los apartados anteriores).

Ubicación repetidor Rep4A:

	Rep4A
Latitud (Norte)	14° 49' 59.2"
Longitud (Este)	46° 13' 28.1"
Altura (metros)	1546

Tabla 4-12: Ubicación Rep4A

Se extrae la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

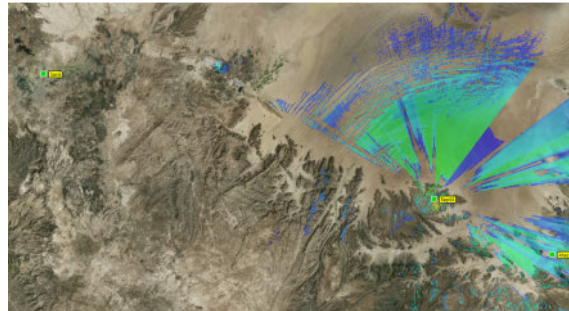


Figura 4-39: Cobertura Rep4A

El resultado es que no tiene cobertura con Sanaa.

Buscamos otro repetidor:

	Rep4B
Latitud (Norte)	15° 31' 28.5"
Longitud (Este)	45° 3' 14.1"
Altura (metros)	2004

Tabla 4-13: Ubicación Rep4B

Sacamos la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros

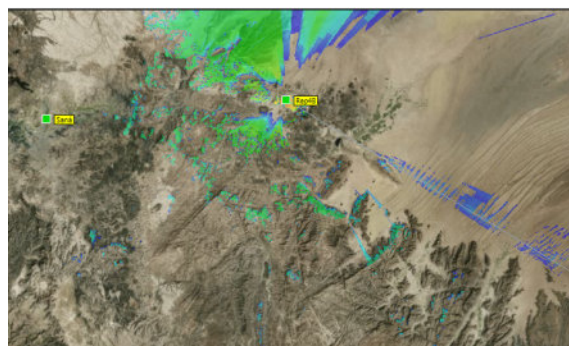


Figura 4-40: Cobertura Rep4B

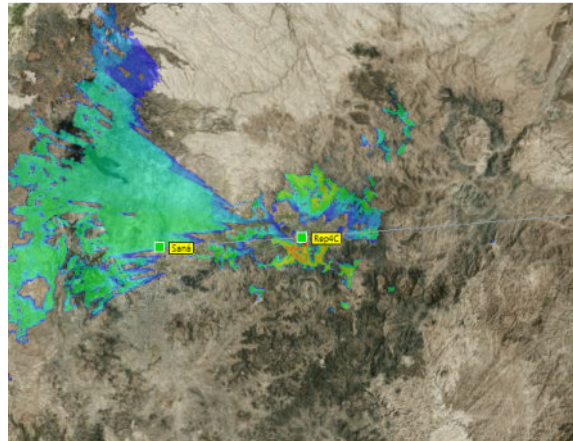
Aún no hay cobertura con Sanaa.

Buscamos otro punto repetidor:

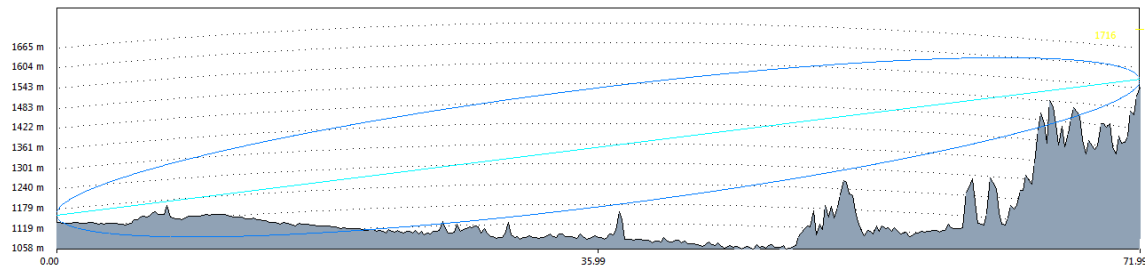
	Rep4C
Latitud (Norte)	15° 28' 22.6"
Longitud (Este)	44° 25' 19.3"
Altura (metros)	2595

Tabla 4-14: Ubicación Rep4C

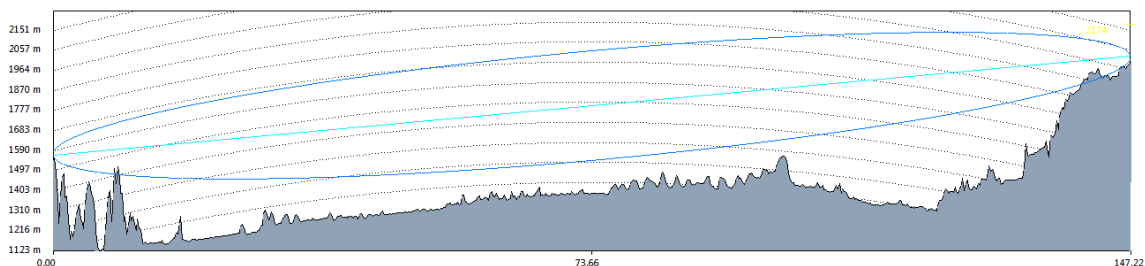
Sacamos la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros

**Figura 4-41: Cobertura Rep4C**

Ahora si se obtiene línea de vista con Sanaa, por tanto, analizamos los perfiles y el despejamiento de la zona de Fresnel entre los puntos repetidores para comprobarlo.

**Figura 4-42: Perfil del enlace Ataq-Rep4A**

Puede haber problemas con la zona de Fresnel, pero hay que tener en cuenta que las zonas de Fresnel dependen de la frecuencia, y que a mayor frecuencia la zona de Fresnel se ve reducida. Este perfil se ha obtenido usando una frecuencia de 170 MHz y en fases de diseño posteriores se podrá comprobar que al utilizar la banda de frecuencias en microondas la zona de Fresnel disminuye considerablemente.

**Figura 4-43: Perfil del enlace Rep4A-Rep4B**

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias de microondas.

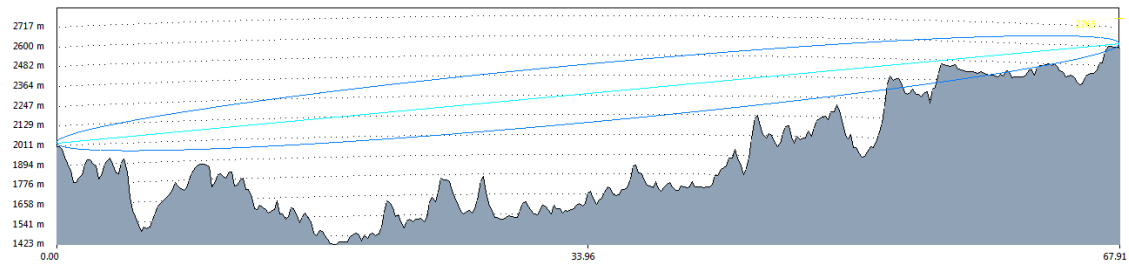


Figura 4-44: Perfil del enlace Rep4B-Rep4C

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

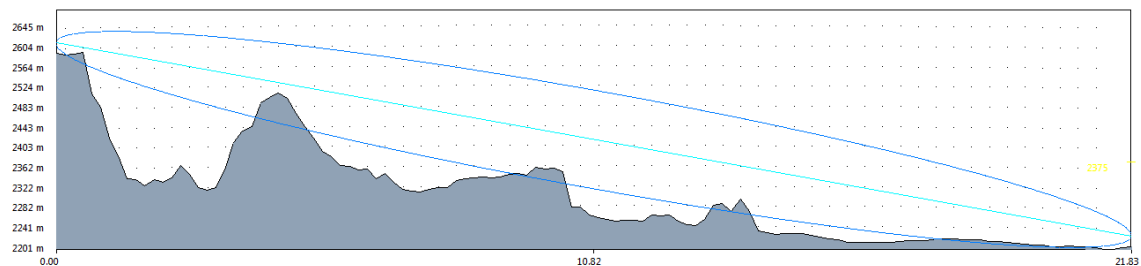


Figura 4-45: Perfil del enlace Rep4C-Sanaa

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

4.1.5. Estudio de cobertura Ataq-Aden

Vamos a obtener la cobertura en Ataq con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.

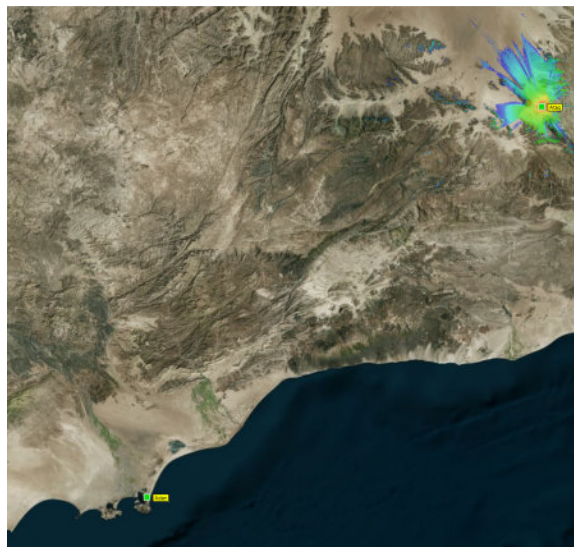


Figura 4-46: Cobertura en Ataq

Se verifica como ya sabíamos que no tiene línea de vista con Aden.

La distancia entre Aden y Ataq es muy grande (273 km) y además hay una cadena montañosa que obstaculiza la línea de vista entre ambos puntos. Como se comprobó en el perfil del apartado anterior, hay picos muy altos cerca de Ataq (unos 2200 metros de altura), por lo que junto con estos picos ya hay que salvar bastante desnivel puesto que Ataq está a 1138 metros de altura y Aden a 2 metros.

Se obtiene la cobertura en Aden con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.

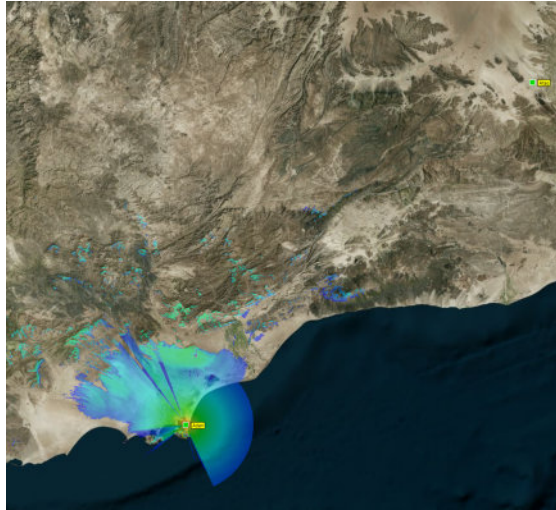


Figura 4-47: Cobertura en Aden

Se busca un punto repetidor a partir de Aden que tiene mejor cobertura, intentando no ubicar el repetidor en picos muy altos para no tener mucho desnivel y así asegurar la línea de vista.

Por ejemplo en esta zona sombreada en azul con cobertura hacia Aden, vemos que hay puntos de aprox. 1000 metros de altura pero que hacia Ataq disminuye la altura del terreno.

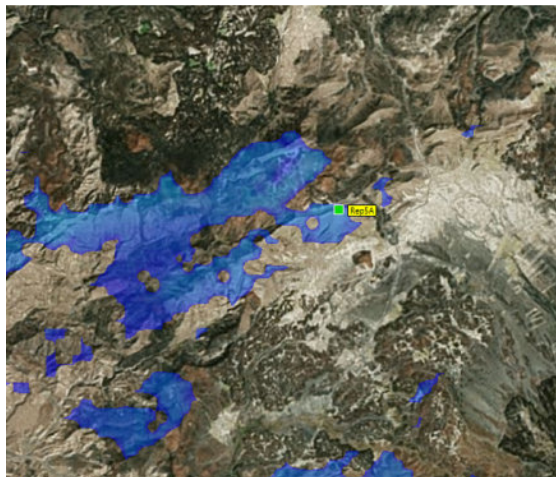


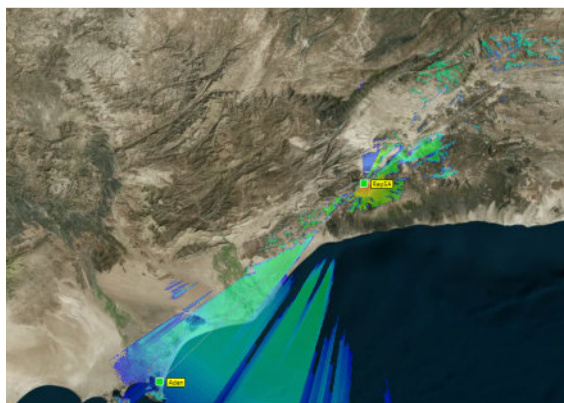
Figura 4-48: Ubicación Rep5A

Ubicación del repetidor:

	Rep5A
Latitud (Norte)	13° 34' 33.7"
Longitud (Este)	45° 48' 43.6"
Altura (metros)	1181

Tabla 4-15: Ubicación Rep5A

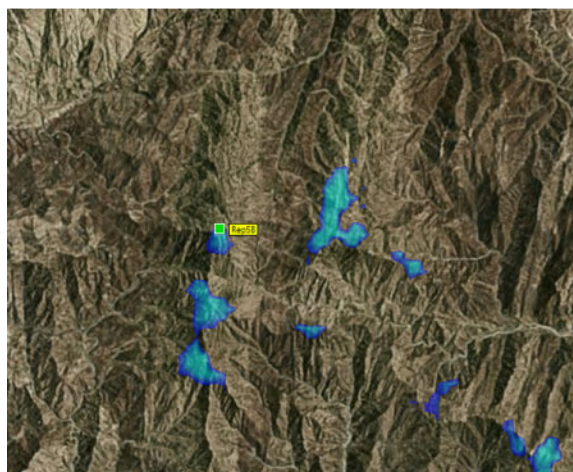
Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

**Figura 4-49: Cobertura Rep5A**

Aún no existe cobertura con Ataq.

Se puede ver que Ataq está a una altura de 1.137 metros, y que el repetidor Rep5A está a una altura de 1181 metros, pero delante de Ataq hay una zona montañosa más alta que ambos puntos y que habrá que salvar con otro repetidor.

Intentamos buscar el punto que permita salvar la zona montañosa que hay delante de Ataq y que tenga cobertura (sombreada en azul oscuro) con el repetidor Rep5A.

**Figura 4-50: Ubicación Rep5B**

	Rep5B
Latitud (Norte)	14° 14' 12.4"
Longitud (Este)	46° 46' 3.9"
Altura (metros)	2128

Tabla 4-16: Ubicación Rep5B

Se obtiene la cobertura del repetidor 2 con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros

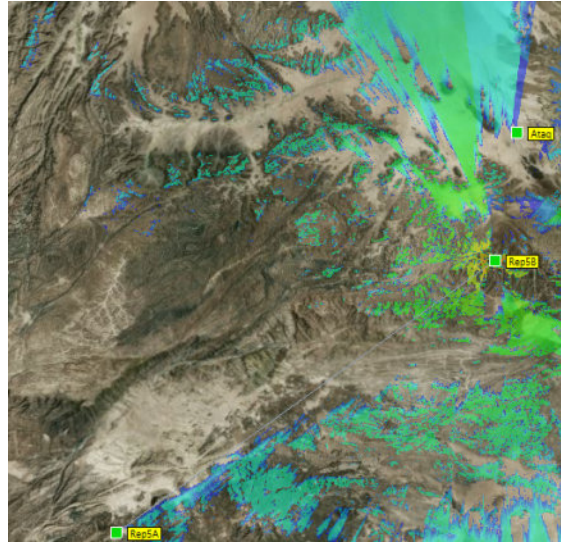


Figura 4-51: Cobertura Rep5B

Por el resultado obtenido en la cobertura, parece que es posible la línea de vista con Ataq, Para asegurarnos, analizamos los perfiles y el despejamiento de la zona de Fresnel:

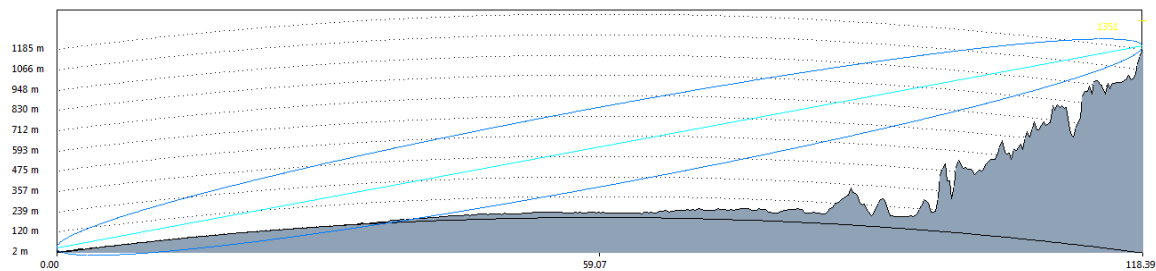


Figura 4-52: Perfil del enlace Ataq-Rep5A

Puede haber algún problema con la 1ª zona de Fresnel. Hay que tener en cuenta que las zonas de Fresnel dependen de la frecuencia, y que a mayor frecuencia la zona de Fresnel se ve reducida. Este perfil se ha obtenido usando una frecuencia de 170 MHz y en fases de diseño posteriores se podrá comprobar que al utilizar la banda de frecuencias en microondas la zona de Fresnel disminuye considerablemente.

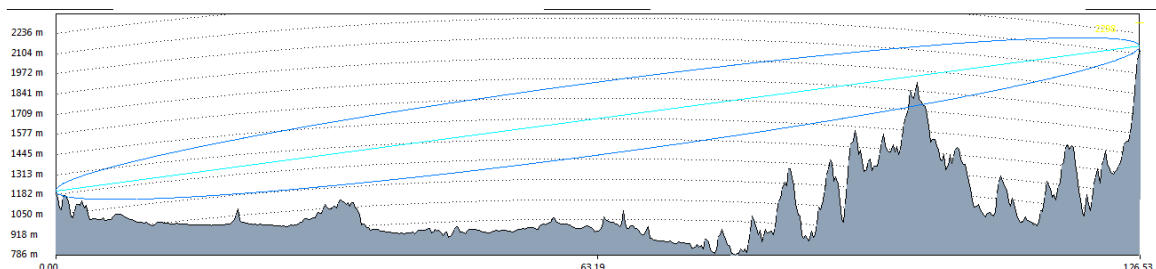


Figura 4-53: Perfil del enlace Rep5A-Rep5B

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

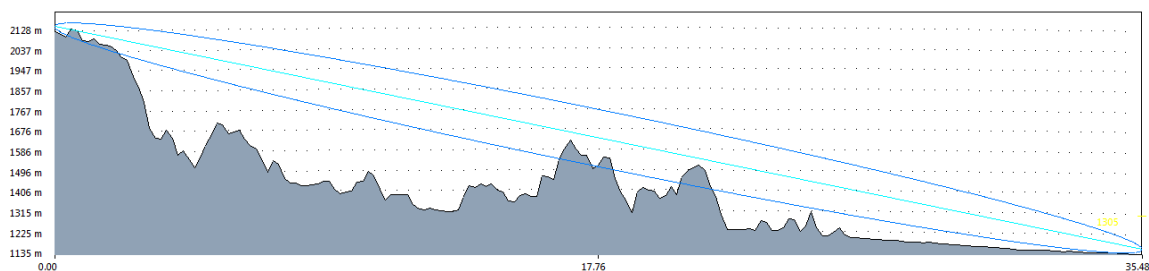


Figura 4-54: Perfil del enlace Rep5B-Aden

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

4.1.6. Estudio de cobertura Ataq-Seiyun

Se configuran los parámetros de Ataq y Seiyun por defecto, como hemos visto en los apartados anteriores.

Se obtiene la cobertura en Ataq con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.

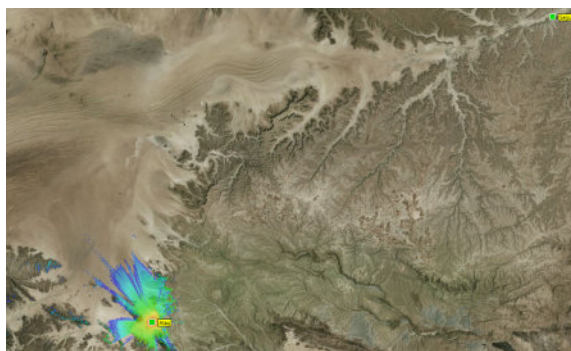


Figura 4-55: Cobertura Ataq

Ya se conocía que no había línea de vista con Seiyun.

Teniendo en cuenta que el enlace es muy largo (263 km), y que Ataq está a 1138 metros de altura y Seiyun a 643 metros de altura, necesitaremos más de un repetidor.

Analizando el perfil del apartado anterior, vemos que existen muchos picos entre ambos puntos. Intentamos ubicar los puntos repetidores en la zona desértica que se ve en el mapa porque será más baja y evitar así la zona montañosa.

Se obtiene la cobertura en Seiyun con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.



Figura 4-56: Cobertura Ataq

Se aprecia claramente que Seiyun tiene una cobertura muy mala, se busca un punto repetidor a partir de esta cobertura.

Ubicación repetidor:

	Rep6A
Latitud (Norte)	15° 53' 12.7"
Longitud (Este)	48° 28' 32.3"
Altura (metros)	995

Tabla 4-17: Ubicación Rep6A

Se obtiene la cobertura del Rep6A con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

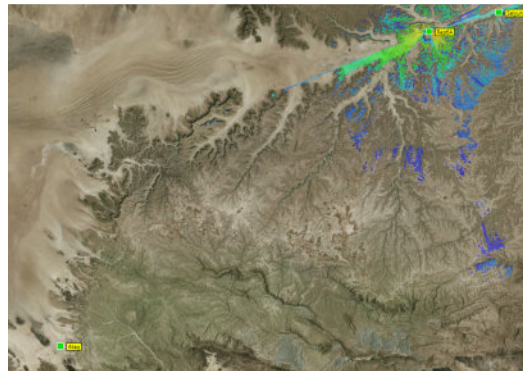


Figura 4-57: Cobertura Rep6A

Buscamos un punto repetidor:

	Rep6B
Latitud (Norte)	15° 37' 21.5"
Longitud (Este)	47° 46' 44.9"
Altura (metros)	1260

Tabla 4-18: Ubicación Rep6B

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros

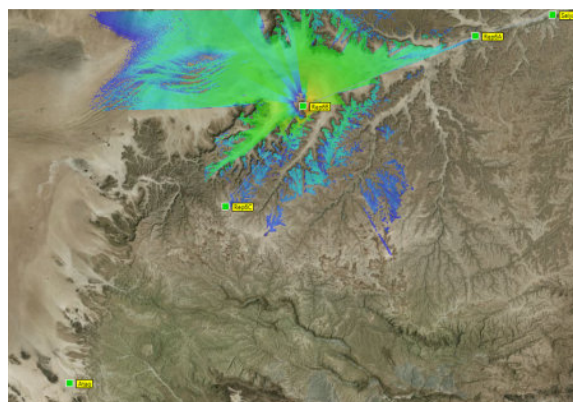


Figura 4-58: Cobertura Rep6B

Buscamos un punto repetidor:

	Rep6C
Latitud (Norte)	15° 14' 4.4"
Longitud (Este)	47° 27' 38.4"
Altura (metros)	1522

Tabla 4-19: Ubicación Rep6C

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros

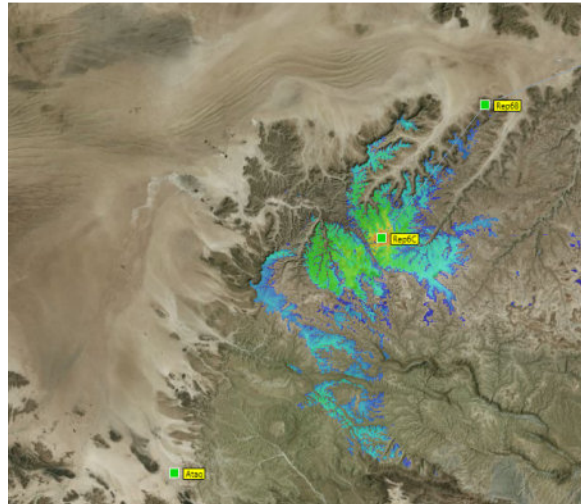


Figura 4-59: Cobertura Rep6C

Aún no existe línea de visión con Ataq.

Se busca otro punto repetidor:

	Rep6D
Latitud (Norte)	14° 51' 30.5"
Longitud (Este)	47° 11' 2.8"
Altura (metros)	1614

Tabla 4-20: Ubicación Rep6D

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

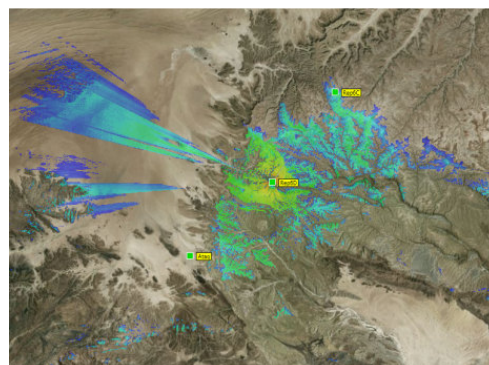


Figura 4-60: Cobertura Rep6D

Aún no hay cobertura con Ataq. Se busca otro punto repetidor:

	Rep6E
Latitud (Norte)	14° 33' 58.9"
Longitud (Este)	46° 55' 9.5"
Altura (metros)	1565

Tabla 4-21: Ubicación Rep6E

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

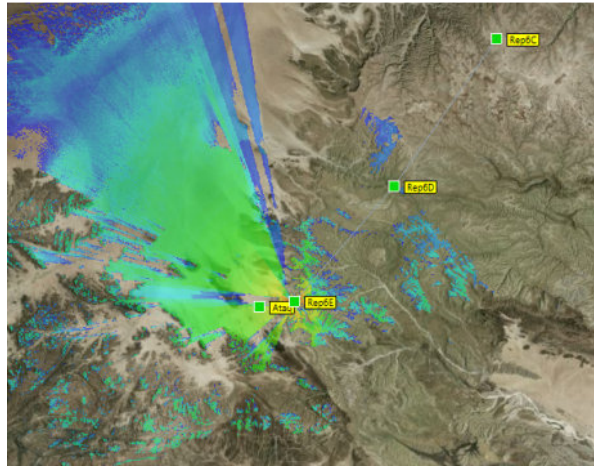


Figura 4-61: Cobertura Rep6E

Ya existe línea de vista con Ataq.

Se analizan los perfiles y el despejamiento de la zona de Fresnel para asegurarnos.

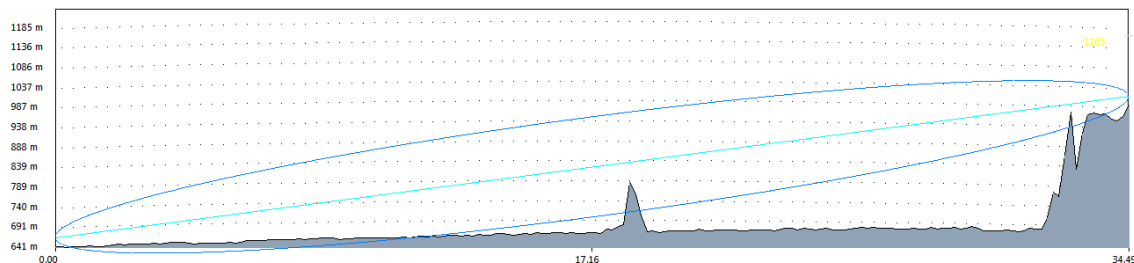


Figura 4-62: Perfil del enlace Seiyun-Rep6A

Puede haber problemas con la 1ª zona de fresnel aunque hay que tener en cuenta que las zonas de Fresnel dependen de la frecuencia, y que a mayor frecuencia la zona de Fresnel se ve reducida. Este perfil se ha obtenido usando una frecuencia de 170 MHz y en fases de diseño posteriores se podrá comprobar que al utilizar la banda de frecuencias en microondas la zona de Fresnel disminuye considerablemente.

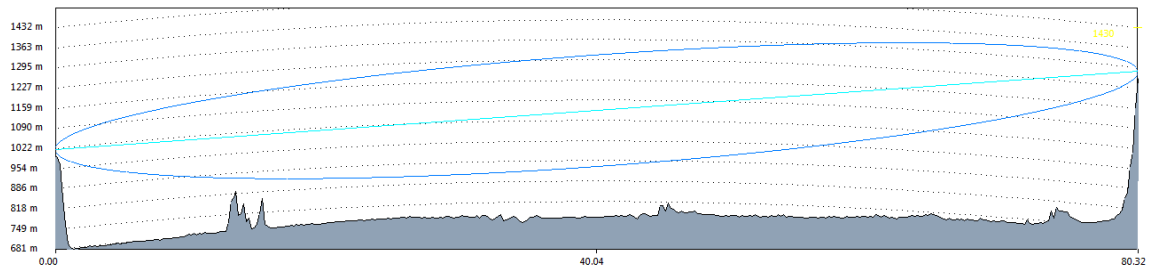


Figura 4-63: Perfil del enlace Rep6A-Rep6B

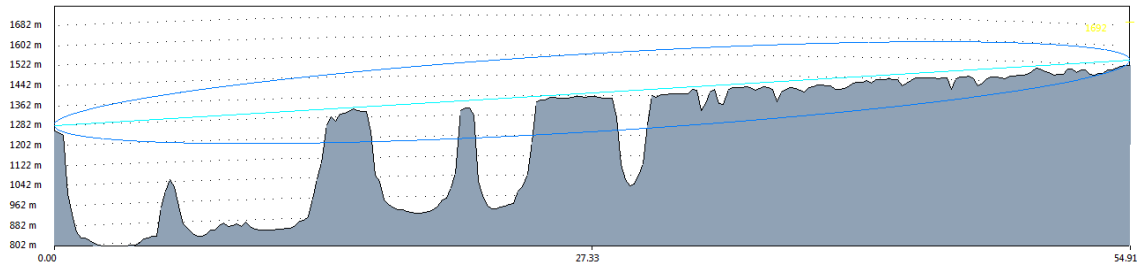


Figura 4-64: Perfil del enlace Rep6B-Rep6C

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias de microondas.

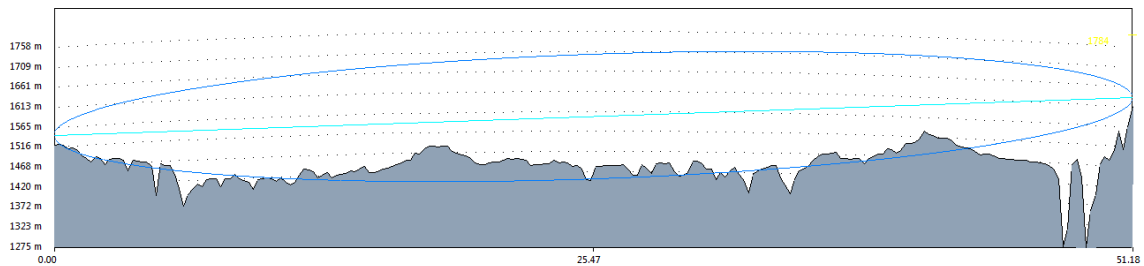


Figura 4-65: Perfil del enlace Rep6C-Rep6D

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias de microondas.

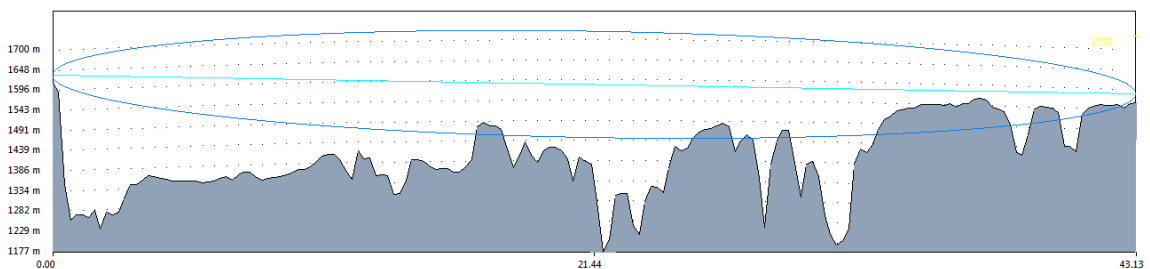


Figura 4-66: Perfil del enlace Rep6D-Rep6E

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias de microondas.

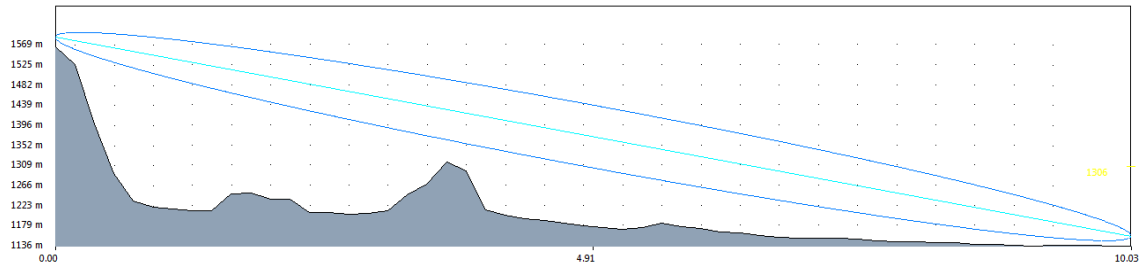


Figura 4-67: Perfil del enlace Rep6E-Ataq



Figura 4-68: Enlace Ataq con Seiyun a través de repetidores

4.1.7. Estudio de cobertura Seiyun-Al Ghaydah

Se configuran los parámetros por defecto de Seiyun y de Al Ghaydah, según se han visto en los procedimientos anteriores. Ya sabemos que no hay línea de vista entre ambos puntos por el perfil del enlace obtenido en los apartados anteriores.

Se obtiene la cobertura en Seiyun con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.

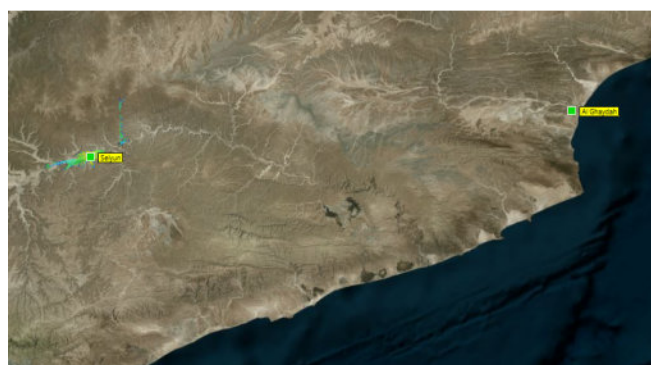


Figura 4-69: Cobertura Seiyun

Teniendo en cuenta que el enlace es muy largo (364 km), y que Seiyun está a 643 metros de altura y Al Ghaydah a 40 metros de altura, además hay unos picos en medio que hay que salvar y debido a la curvatura se hacen aún más pronunciables.

Se obtiene la cobertura en al Ghaydah con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.



Figura 4-70: Cobertura Al Ghaydah

A partir de la cobertura de Al Ghaydah, se busca un punto repetidor.

	Rep7A
Latitud (Norte)	16° 24' 53.8"
Longitud (Este)	51° 26' 14.6"
Altura (metros)	735

Tabla 4-22: Ubicación Rep7A

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

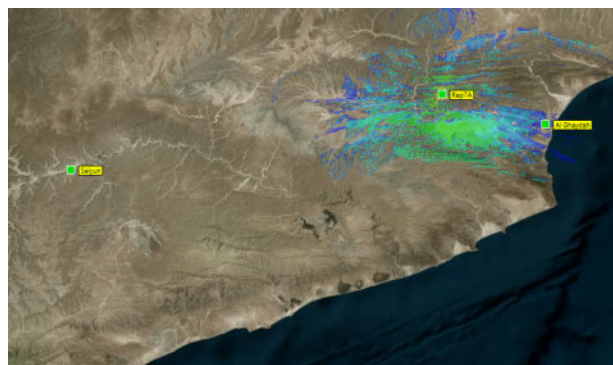


Figura 4-71: Cobertura Rep7A

No existe línea de vista con Seiyun, se busca otro punto repetidor.

	Rep7B
Latitud (Norte)	16° 26' 16.5"
Longitud (Este)	50° 14' 22.9"
Altura (metros)	1140

Tabla 4-23: Ubicación Rep7B

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

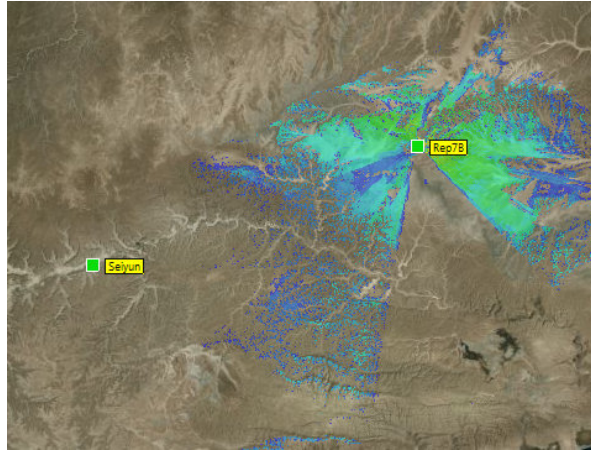


Figura 4-72: Cobertura Rep7B

Se observa que aún no hay línea de vista, así que se busca otro repetidor.

	Rep7C
Latitud (Norte)	16° 16' 8.2"
Longitud (Este)	49° 17' 21.7"
Altura (metros)	924

Tabla 4-24: Ubicación Rep7C

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

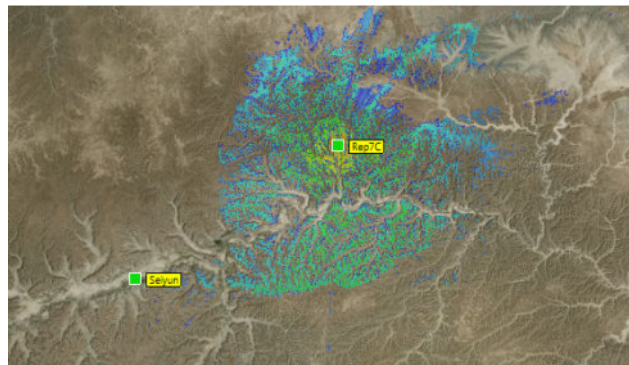


Figura 4-73: Cobertura Rep7C

Se observa que aún no hay línea de vista, así que se busca otro repetidor.

	Rep7D
Latitud (Norte)	16° 2' 44"
Longitud (Este)	48° 56' 42.2"
Altura (metros)	971

Tabla 4-25: Ubicación Rep7D

Con este repetidor ya tenemos línea de vista con Seiyun.

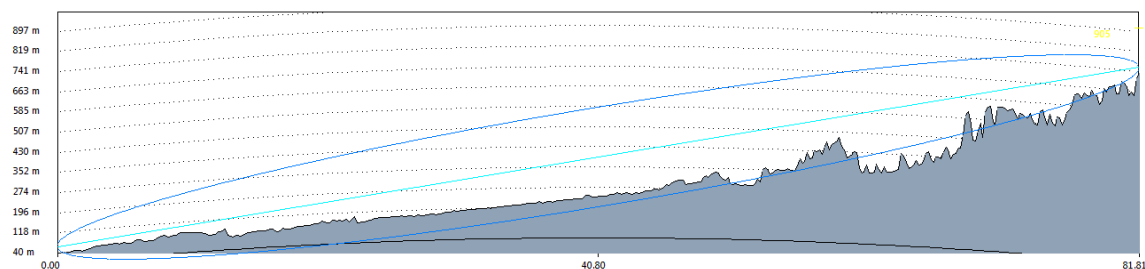


Figura 4-74: Perfil del enlace Al Ghaydah-Rep7A

Puede ser que hay problemas con la primera zona de Fresnel, aunque hay que tener en cuenta que las zonas de Fresnel dependen de la frecuencia, y que a mayor frecuencia la zona de Fresnel se ve reducida. Este perfil se ha obtenido usando una frecuencia de 170 MHz y en fases de diseño posteriores se podrá comprobar que al utilizar la banda de frecuencias en microondas la zona de Fresnel disminuye considerablemente.

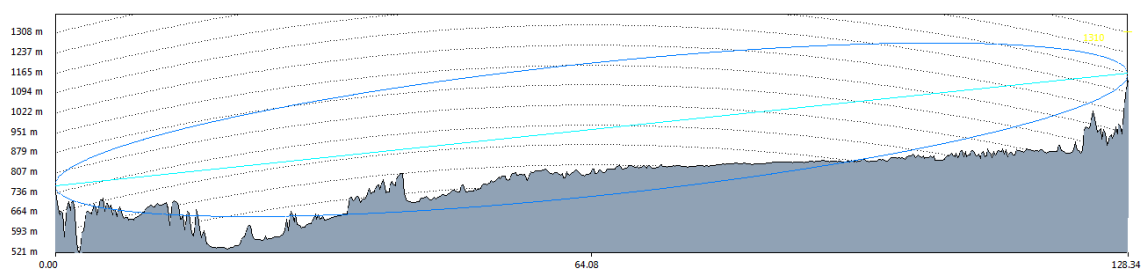


Figura 4-75: Perfil del enlace Rep7A-Rep7B

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

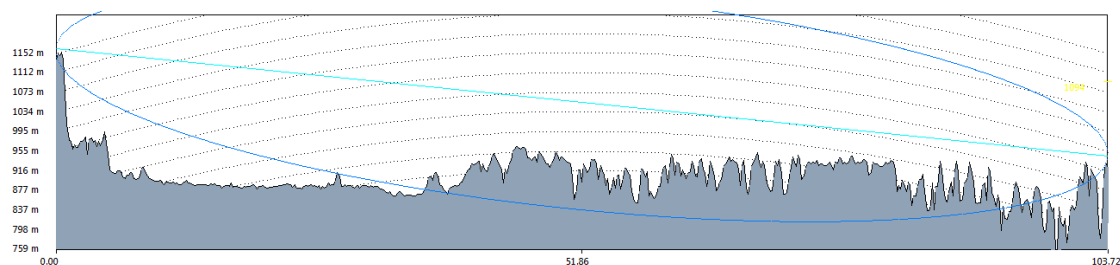


Figura 4-76: Perfil del enlace Rep7B-Rep7C

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

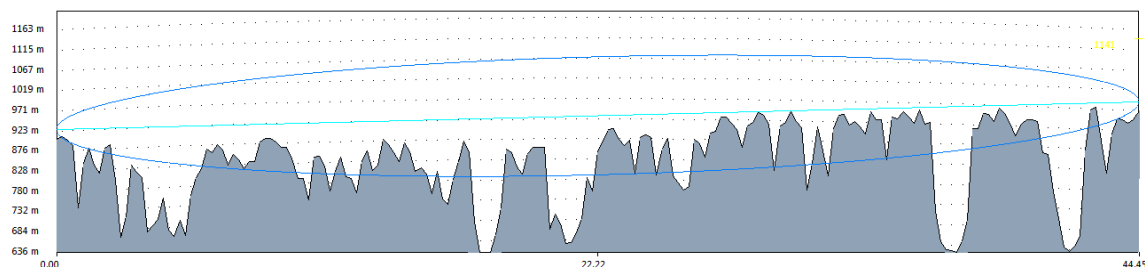


Figura 4-77: Perfil del enlace Rep7C-Rep7D

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

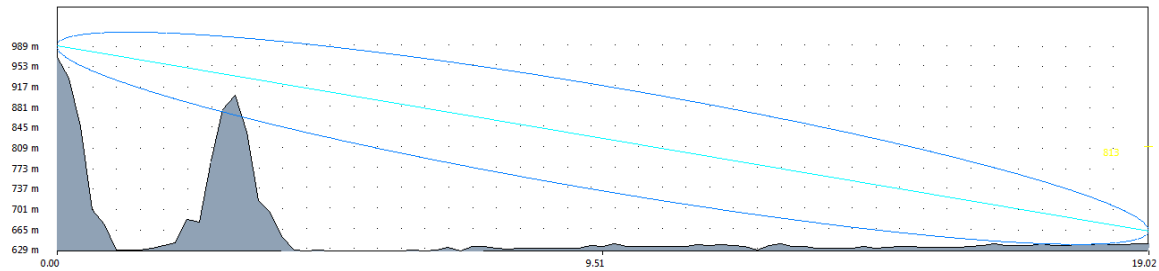


Figura 4-78: Perfil del enlace Rep7D-Seiyun

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

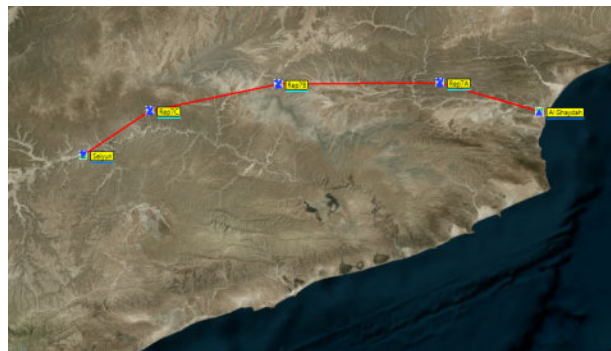


Figura 4-79: Enlace Al Ghaydah con Seiyun a través de repetidores

4.1.8. Estudio de cobertura Al Ghaydah-Riyan Mukalla

Se configurará Al Ghaydah y Riyan Mukalla con los parámetros por defecto. Ya sabemos que no hay línea de visión directa entre ambos aeropuertos así que seguimos el mismo procedimiento que en los apartados anteriores.

Se obtiene la cobertura en Al Ghaydah con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.

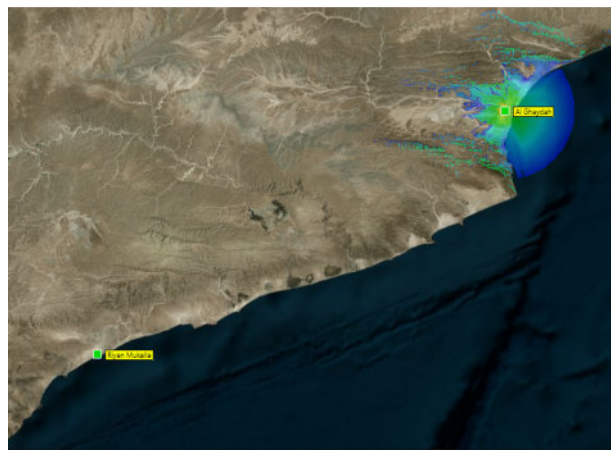


Figura 4-80: Cobertura Al Ghaydah

Analizando el perfil del apartado anterior, vemos que existen muchos picos entre ambos puntos. Hay picos en medio de hasta 1700 metros de altura y teniendo en cuenta que Seiyun está a 40 metros de altura y Riyan Mukalla a 21, tenemos que subir hacia los picos y luego volver a bajar a nivel del mar.

Se obtiene la cobertura en Riyan Mukalla con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.

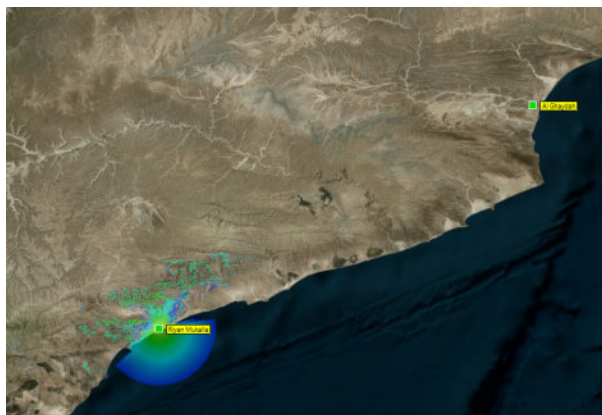


Figura 4-81: Cobertura Riyan Mukalla

A partir de la cobertura de Al Ghaydah, se busca un punto repetidor.

	Rep8A
Latitud (Norte)	15° 45' 56
Longitud (Este)	51° 49' 54.0''
Altura (metros)	948

Tabla 4-26: Ubicación Rep8A

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros

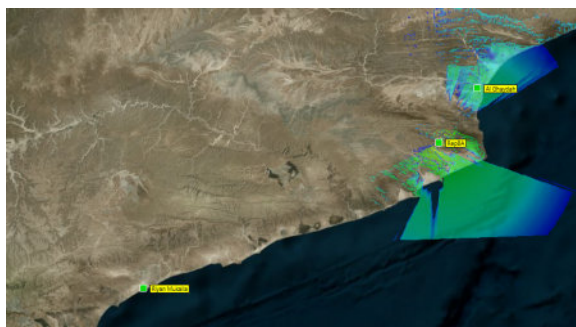


Figura 4-82: Cobertura Rep8A

Aún no hay línea de vista con Riyan, se busca otro punto repetidor.

	Rep8B
Latitud (Norte)	15° 18' 9.7 ''
Longitud (Este)	51° 17' 16.1''
Altura (metros)	788

Tabla 4-27: Ubicación Rep8B

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

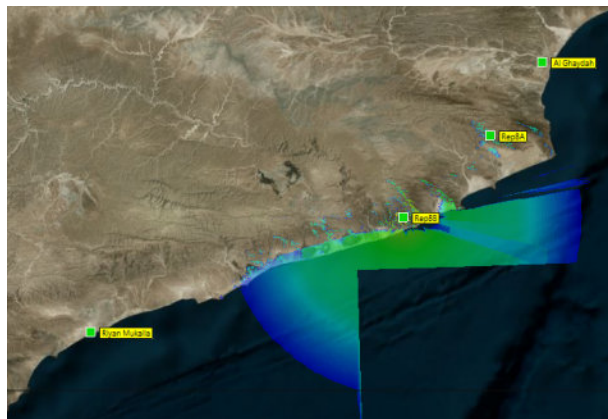


Figura 4-83: Cobertura Rep8B

No existe línea de vista con Riyan, se busca otro punto repetidor.

	Rep8C
Latitud (Norte)	15° 3' 55.7 ''
Longitud (Este)	50° 20' 58.8''
Altura (metros)	450

Tabla 4-28: Ubicación Rep8C

Con el repetidor 8C no llegamos directamente a Al Ghaydah porque hay delante un pico de 170 m que tapa la línea de vista.

Sacamos la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros

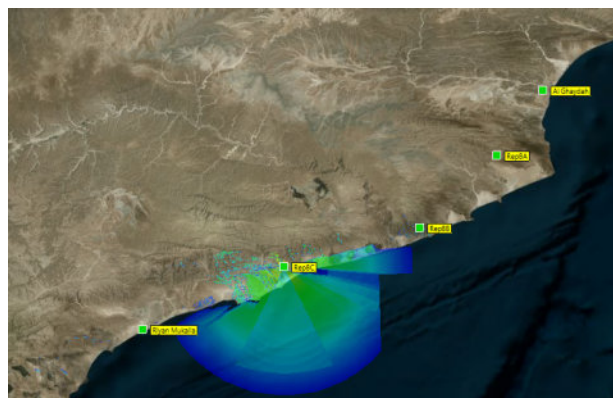


Figura 4-84: Cobertura Rep8C

Se busca, por tanto, otro punto repetidor.

	Rep8D
Latitud (Norte)	14° 42' 41.9 ''
Longitud (Este)	49° 27' 27.9''
Altura (metros)	162

Tabla 4-29: Ubicación Rep8D

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

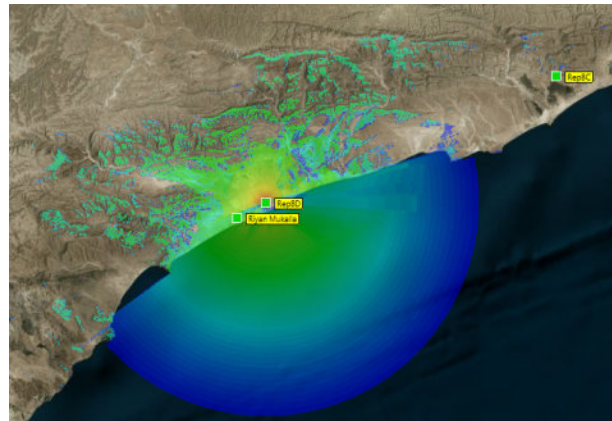


Figura 4-85: Cobertura Rep8D

Se analizan los perfiles de los enlaces y el despejamiento de la zona de Fresnel para verificar la línea de vista.

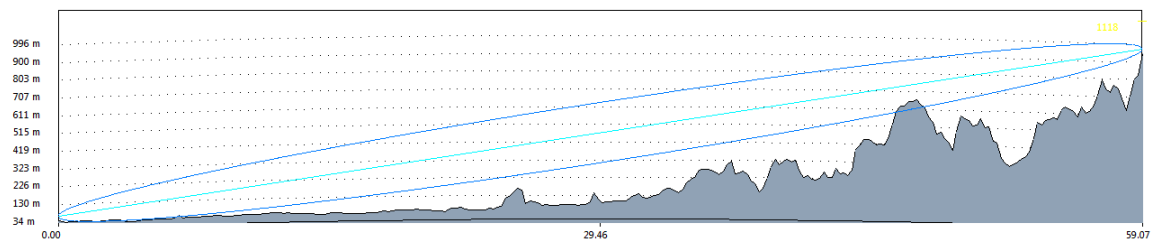


Figura 4-86: Perfil del enlace Al Ghaydah-Rep8A

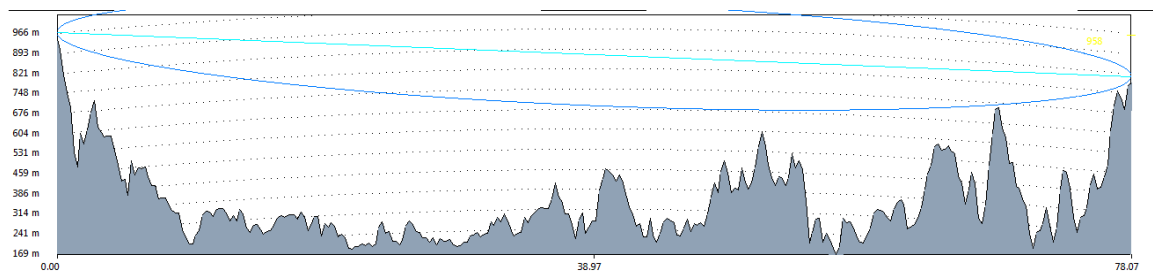


Figura 4-87: Perfil del enlace Rep8A-Rep8B

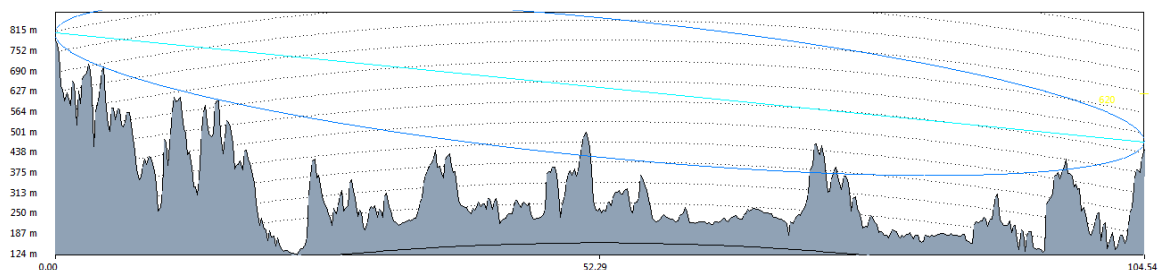


Figura 4-88: Perfil del enlace Rep8B-Rep8C

Puede haber problemas en la primera zona de Fresnel, aunque hay que tener en cuenta que las zonas de Fresnel dependen de la frecuencia, y que a mayor frecuencia la zona de Fresnel se ve reducida. Este perfil se ha obtenido usando una frecuencia de 170 MHz y en

fases de diseño posteriores se podrá comprobar que al utilizar la banda de frecuencias en microondas la zona de Fresnel disminuye considerablemente.

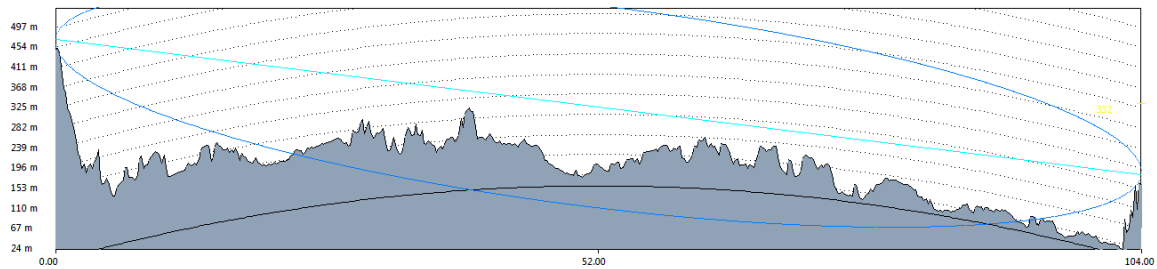


Figura 4-89: Perfil del enlace Rep8C-Rep8D

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

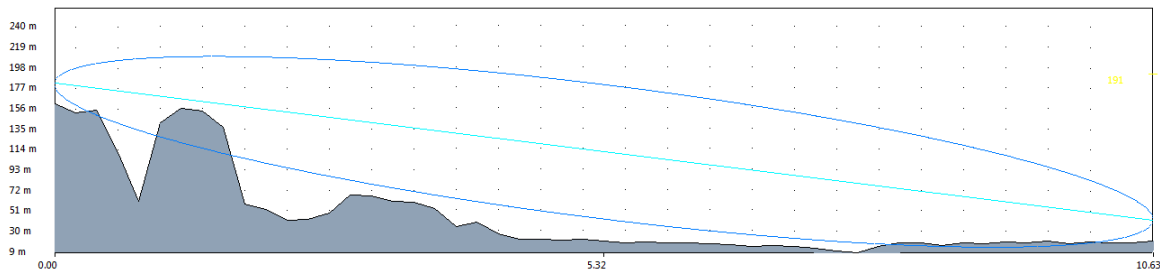


Figura 4-90: Perfil del enlace Rep8D-Riyan Mukalla

Se comprobará más adelante como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.



Figura 4-91: Enlace Al Ghaydah con Riyan Mukalla con repetidores intermedios

4.1.9. Estudio de cobertura Riyan Mukalla-Seiyun

Se configuran los parámetros por defecto de Riyan Mukalla y Seiyun. Ya se sabe que no hay línea de vista entre ambos aeropuertos por tanto se va a buscar los puntos que funcionarán de repetidores.

Se obtiene la cobertura en Riyan Mukalla con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.

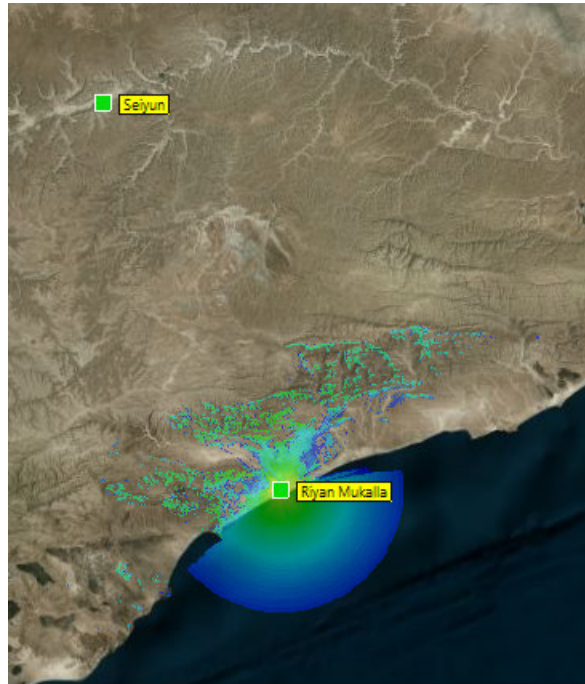


Figura 4-92: Cobertura Riyan

Analizando el perfil del apartado anterior, vemos que existen muchos picos entre ambos puntos de hasta 1500 metros de altura.

Se obtiene la cobertura en Seiyun con antena a 20 metros y suponiendo antena receptora a 20 metros.



Figura 4-93: Cobertura Seiyun

A partir de la cobertura de Riyan Mukalla, se busca un punto repetidor.

	Rep9A
Latitud (Norte)	14° 55' 44.7"
Longitud (Este)	48° 58' 54.5"
Altura (metros)	1397

Tabla 4-30: Ubicación Rep9A

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.



Figura 4-94: Cobertura Rep9A

	Rep9B
Latitud (Norte)	14° 59' 51.1"
Longitud (Este)	48° 48' 47.5"
Altura (metros)	1541

Tabla 4-31: Ubicación Rep9B

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros.

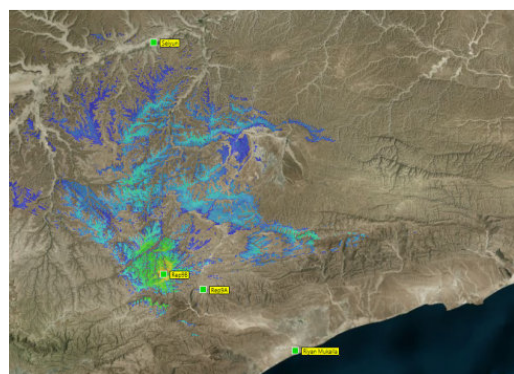


Figura 4-95: Cobertura Rep9B

Aún no existe línea de vista con Seiyun, se busca otro punto repetidor.

	Rep9C
Latitud (Norte)	15° 53' 55.1"
Longitud (Este)	48° 48' 9.9"
Altura (metros)	984

Tabla 4-32: Ubicación Rep9C

Se obtiene la cobertura del repetidor con altura antena a 20 metros y suponiendo altura de antena receptora a 20 metros

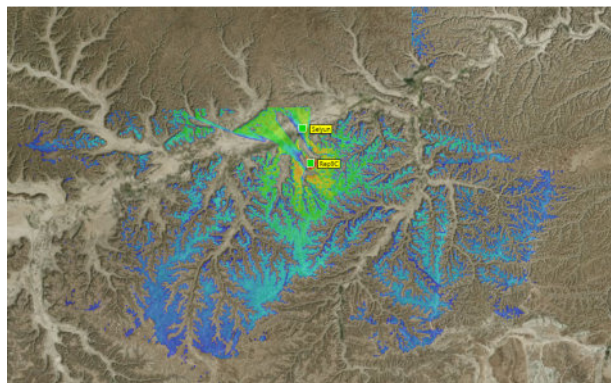


Figura 4-96: Cobertura Rep9C

Se verifican los enlaces con los perfiles y el despejamiento de la zona de Fresnel:

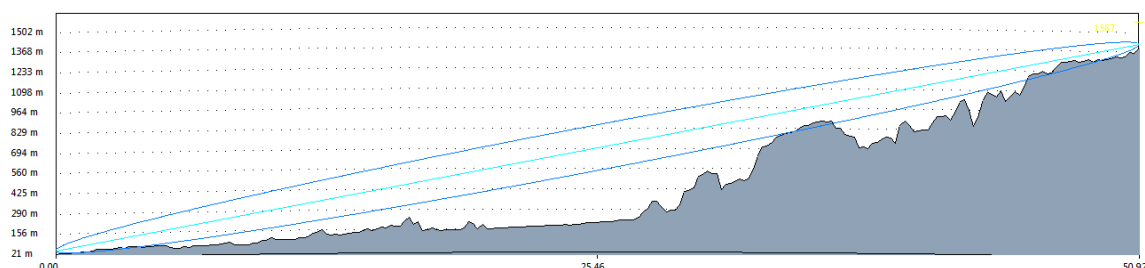


Figura 4-97: Perfil del enlace Riyan Mukalla-Rep9A

Puede ser que haya problemas en la primera zona de Fresnel, aunque hay que tener en cuenta que las zonas de Fresnel dependen de la frecuencia, y que a mayor frecuencia la zona de Fresnel se ve reducida. Este perfil se ha obtenido usando una frecuencia de 170 MHz y en fases de diseño posteriores se podrá comprobar que al utilizar la banda de frecuencias en microondas la zona de Fresnel disminuye considerablemente.

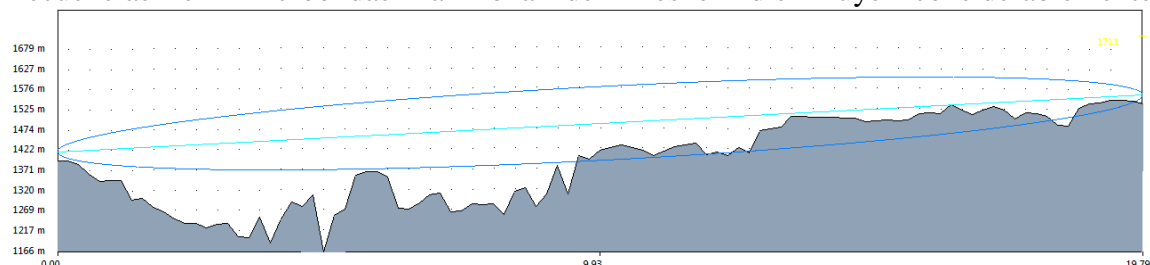


Figura 4-98: Perfil del enlace Rep9A-Rep9B

Se comprobará como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

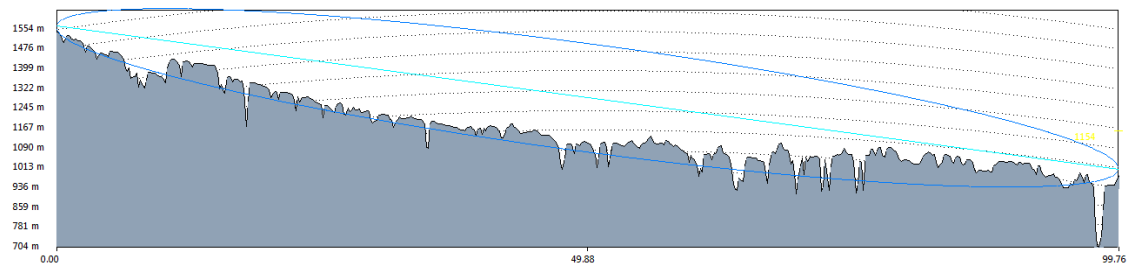


Figura 4-99: Perfil del enlace Rep9B-Rep9C

Se comprobará como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.

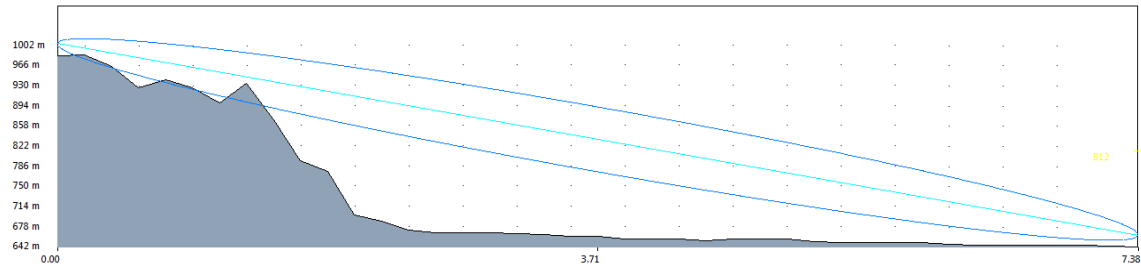


Figura 4-100: Perfil del enlace Rep9C-Seiyun

Se comprobará como disminuye la zona de Fresnel a frecuencias superiores.



Figura 4-101: Enlace Riyan Mukalla con Seiyun con repetidores intermedios

4.2. Banda de frecuencias

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo a nivel internacional que define los estándares y normas a seguir para el uso del espectro radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico se divide dependiendo de la frecuencia según la siguiente imagen:

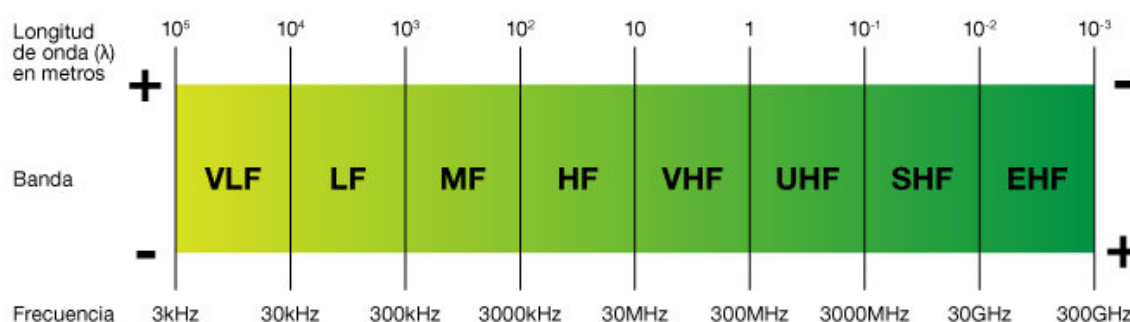


Figura 4-102: Espectro radioeléctrico

El uso del espectro radioeléctrico en cada país está regulado según el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. No se ha encontrado el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias de Yemen en los medios disponibles.

Para operar sistemas de radiocomunicación de servicio fijo a largas distancias se utiliza el espectro radioeléctrico denominado de microondas (a partir de 3 GHz).

Según la UIT se define un servicio fijo como aquel servicio de radio comunicación entre dos puntos fijos.

En concreto, se suele usar para este tipo de sistemas inalámbricos la denominada banda C (entre 4 y 8 GHz).

Para la red de microondas de Yemen se usará la banda de frecuencias de 4 GHz, en la sub-banda alta de 4,4 a 5 GHz.

En la Recomendación de la **UIT-R F-1099-5 Serie F** se aconseja una separación de canales en esta sub-banda de 20, 28, 40 y 80 MHz.

Series de las Recomendaciones UIT-R	
(También disponible en línea en http://www.itu.int/publ/R-REC/es)	
Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Figura 4-103: Recomendación UIT-R

4.3. Especificación técnica

Dentro de la banda de 4,4 a 5 GHz. se elige una separación de canales de 28 MHz. que es una de las que recomienda la UIT-R.

Con los datos que tenemos hasta ahora, necesitamos hacer los balances de enlace y verificar la viabilidad de cada uno para determinar el diseño y configuración final.

La capacidad requerida para cada enlace es de 80 Mbps y se debe conseguir una disponibilidad del servicio en toda la red del 99,99%.

Para ello se escogerá un equipamiento “tipo” que funcione en esta banda, con la separación de canal elegida y que pueda proporcionar dicha capacidad.

Banda de frecuencias (GHz)	4,4 -5
Separación de canales (MHz)	28
Capacidad (Mbps)	80
Disponibilidad (%)	99,99%

Tabla 4-33: Especificación técnica de la red

Actualmente los equipos que se utilizan en los radioenlaces son muy compactos. En algunos casos los equipos se agrupan en una sola unidad llamada “mochila” que se instala junto a la antena o incluso está integrada con ella en un único soporte mecánico. Esta unidad tiene las conexiones necesarias de alimentación, datos en banda base y telecontrol y se construye con las características necesarias de estanqueidad necesarias para su instalación.

Otros fabricantes dividen los equipos en dos unidades, una exterior ODU (Outdoor Unit), con los subsistemas de radiofrecuencia (RF) y parte de los de frecuencia intermedia (FI), y una interior IDU (Indoor Unit) que integra los sistemas de banda base y

modulación/demodulación. Ambas unidades se conectan en FI, generalmente mediante un único cable coaxial.

En transmisión por ejemplo, para esta separación de equipos, una IDU típica sería aquella en la que la banda base que se va a transmitir se forma por multiplexación de varias entradas de datos. A esta señal se añaden los canales de servicio, códigos de redundancia cíclica (CRC) para detección de errores y la codificación de canal (FEC, Forward Error Correction), y se realiza la modulación en frecuencia intermedia. Todos estos procesos se pueden implementar prácticamente de forma digital, realizando al final la conversión digital/analógico (D/A).

Y en la ODU, la señal modulada en FI se lleva a un conversor de FI a RF sintonizado en la frecuencia de emisión. La señal resultante se amplifica, se filtra y si se requiere se combina con las señales generadas en otros transmisores que compartan la misma antena.

Así mismo, un duplexor permitiría usar la misma antena en transmisión y recepción.

En recepción, la señal recibida en la antena se lleva tras el duplexor al receptor sintonizado con ella, se realiza una amplificación y una conversión a frecuencia intermedia. En frecuencia intermedia, se implementa el control automático de ganancia (CAG) con el objetivo de mantener constante el nivel de señal en el demodulador, posteriormente se realizaría el proceso de detección y el resto de operaciones se haría sobre los datos recibidos. Tras los procesos de corrección de errores y detección del CRC, se entrega la señal demultiplexada.

Para el diseño de esta red se va a elegir la división del equipamiento en IDU y ODU.

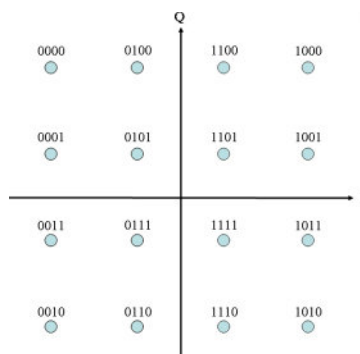
Para la frecuencia, capacidad y disponibilidad de la red se ha utilizado las especificaciones técnicas de equipamiento IDU y ODU del fabricante Aviat Networks. En concreto se usará lo siguiente:

Modulación requerida	16QAM
Potencia transmitida a 16 QAM (dBm)	28
Umbral del receptor BER=10-6 (max. capacidad) (dBm)	-78,5
Umbral del receptor BER=10-3 (max. ganancia del sistema) (dBm)	-81,5
Ganancia del sistema (max. capacidad) (dB)	106,5
Ganancia del sistema (max. ganancia del sistema) (dB)	109,5

Tabla 4-34: Especificación técnica IDU y ODU del fabricante Aviat Networks

La capacidad sobre el aire (en Mbps) y la ganancia del sistema (en dB) están especificados por la modulación usada para un ancho de banda de canal específico.

Se define la modulación de 16QAM como la modulación por amplitud en cuadratura con 16 estados.

**Figura 4-104: Modulación 16QAM**

La potencia de salida del transmisor usualmente está especificada en el puerto de la guía de onda. La potencia suele estar expresada en vatios o dBm. La unidad dBm es una relación logarítmica de la potencia referida a 1 mili-watio (0 dBm=1 mw). Así que en el diseño de esta red se tienen 28 dBm que es aproximadamente 1 watio. Niveles de potencia menores a 1 mili-watio son expresados con un número negativo en dBm.

El umbral del receptor es un parámetro que especifica el mínimo nivel de señal recibida requerida para mejorar determinada tasa de error de bit (BER), usualmente 10^{-6} o 10^{-3} .

La ganancia del sistema es la diferencia en dB entre la máxima potencia de transmisión y el umbral de un terminal de radio.

Se han buscado antenas que funcionen en esta banda y se ha obtenido los siguientes datos.

Ganancia antena (1.2 m de diámetro) (dBi)	32,6
Ganancia antena (1.8 m de diámetro) (dBi)	36,6
Ganancia antena (2.4 m de diámetro) (dBi)	39,3
Ganancia antena (3.0 m de diámetro) (dBi)	41
Ganancia antena (3.7 m de diámetro) (dBi)	42,7
Ganancia antena (4.6 m de diámetro) (dBi)	44,5

Tabla 4-35: Especificación técnica de antenas del fabricante Andrew Corporation

4.4. Configuración de los enlaces

Existen diferentes configuraciones para montar los enlaces de microondas.

Por ejemplo la configuración más simple es la denominada configuración 1+0. Esto quiere decir que no existe redundancia de ningún equipo, sólo existe 1 ODU (RF) por terminal radio.

Ya que en algunas aplicaciones y servicios se exige una mayor robustez de la configuración, para dar más protección a los enlaces frente a posibles fallos existe la

configuración denominada “listo-en espera” (1+1 Hot Standby) que presenta protección en la ODU, es decir la RF está redundada.

Las 2 ODUs se montan con un acoplador el cuál introduce unas pérdidas, normalmente de 3,5 dB.

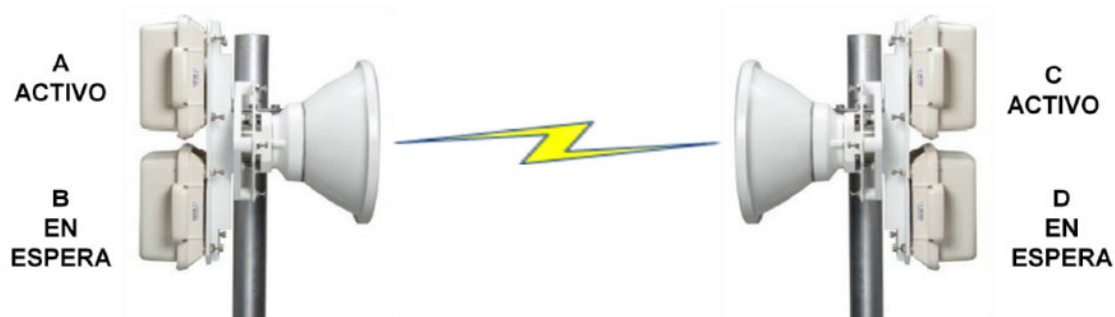


Figura 4-105: Configuración 1+1 HSB

En caso de fallo en A, B pasará a estar activo. Igual para C y D.

En las comunicaciones inalámbricas existe un fenómeno denominado multitrayecto que resulta cuando las señales radio llegan a la antena receptora por dos o más caminos diferentes.

Las causas del multitrayecto son muchas, desde la creación de conductos atmosféricos debido a cambios en los índices de refractividad del medio, también reflexiones y refracciones ionosféricas, así como reflexiones ocasionadas debido a que los vanos atraviesan zonas con agua, montañas o edificios.

Este fenómeno provoca desvanecimiento de la señal recibida.

Para resolver problemas como el multitrayecto, se ha introducido una protección en los radioenlaces que se define como diversidad. La diversidad consiste en la transmisión de la misma información por dos “camino radioeléctricos diferentes” que se vean afectados de forma independiente por el desvanecimiento.

En los sistemas de diversidad se dispone en recepción de dos o más señales con pequeña correlación, que se procesan para generar una única señal.

La eficacia de un sistema de diversidad depende del grado de incorrelación de las señales que se propagan por los diferentes trayectos. En la práctica, se logra un rendimiento aceptable con un coeficiente de correlación inferior a 0,6.

La recepción por diversidad es de gran utilidad para trayectos en los que se presentan valores elevados de desvanecimiento multitrayecto. En cambio, cuando los desvanecimientos de la señal recibida se deben a la presencia de conductos o a la absorción por la atmósfera o por la lluvia, la ganancia del sistema de diversidad es pequeña.

En consecuencia, deberá utilizarse la recepción por diversidad en trayectos sobre agua y en vanos largos con perfiles pocos rugosos, ya que en estos casos el rayo reflejado interfiere fuertemente con el haz principal y aumenta la severidad del desvanecimiento.

Existe la diversidad de espacio y la diversidad de frecuencia.

La configuración en diversidad de espacio (1+1 SD) sería la siguiente:

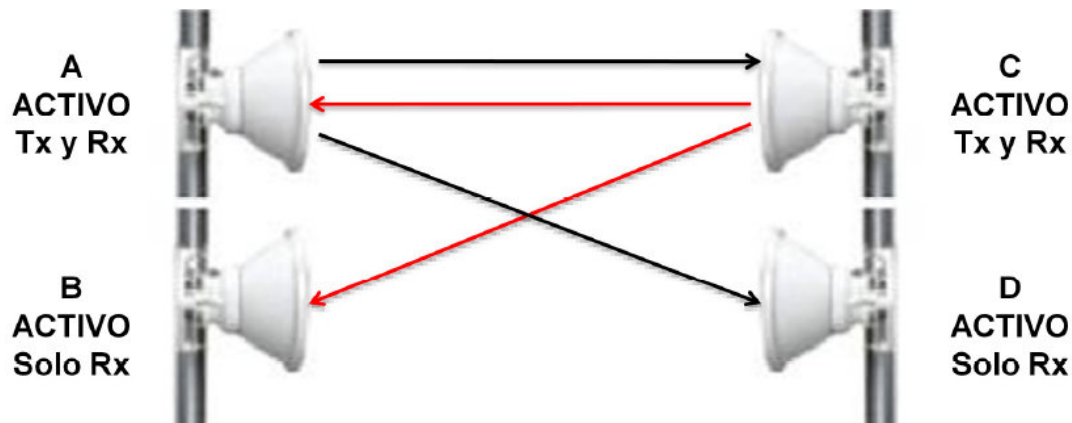


Figura 4-106: Configuración 1+1 SD

Se dispone de dos antenas receptoras separadas verticalmente algunas decenas de longitudes de onda, de forma que la señal emitida por un único transmisor se reciba por dos caminos distintos en dos receptores separados. Dado que los trayectos son diferentes, también variará la pérdida de propagación de uno a otro, por lo que no es muy probable el desvanecimiento simultáneo, de modo que siempre habrá una señal útil en alguna de las dos salidas. A y B tienen la misma frecuencia y C y D la misma frecuencia.

Una separación de antenas recomendada será ≥ 150 veces la longitud de onda.

La configuración en diversidad de frecuencia (1+1 FD) sería la siguiente:

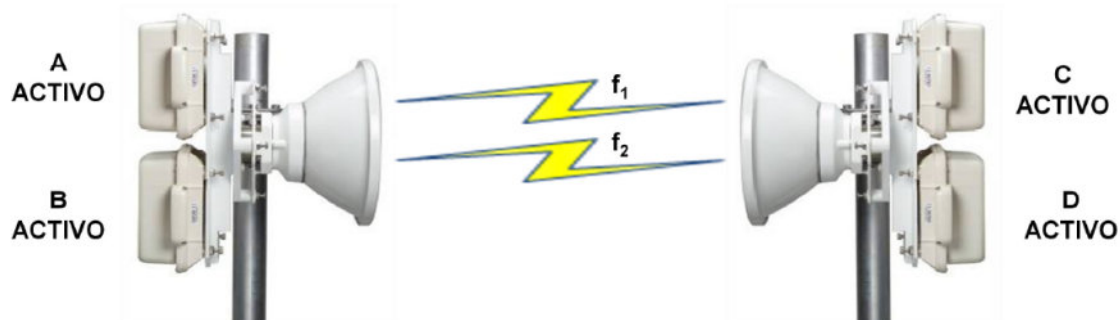


Figura 4-107: Configuración 1+1 FD

La diversidad de frecuencia se basa en que el período de desvanecimiento difiere para frecuencias separadas de un 2 a un 5%. El sistema tiene una doble transmisión/recepción en frecuencias distintas, de forma que, cuando una señal se desvanece (oposición de fase), la otra se recibe en fase con gran probabilidad.

Es decir, se opera con pares de frecuencias diferentes.

Esta posibilidad de montaje con diversidad de frecuencia ofrece protección al enlace pero obligaría a usar más espectro radioeléctrico, por lo que vamos a evitar el uso de esta configuración en la medida de lo posible.

Existen otras configuraciones que ofrecen una protección doble como la configuración de diversidad de frecuencia sobre listo-en espera y configuración de diversidad de frecuencia sobre diversidad de espacio.

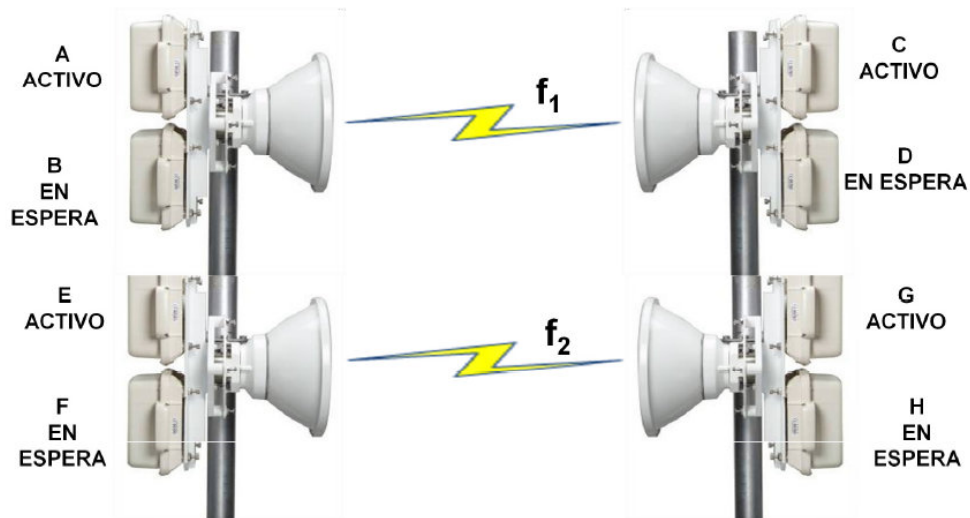


Figura 4-108: Configuración diversidad de frecuencia sobre listo-en espera

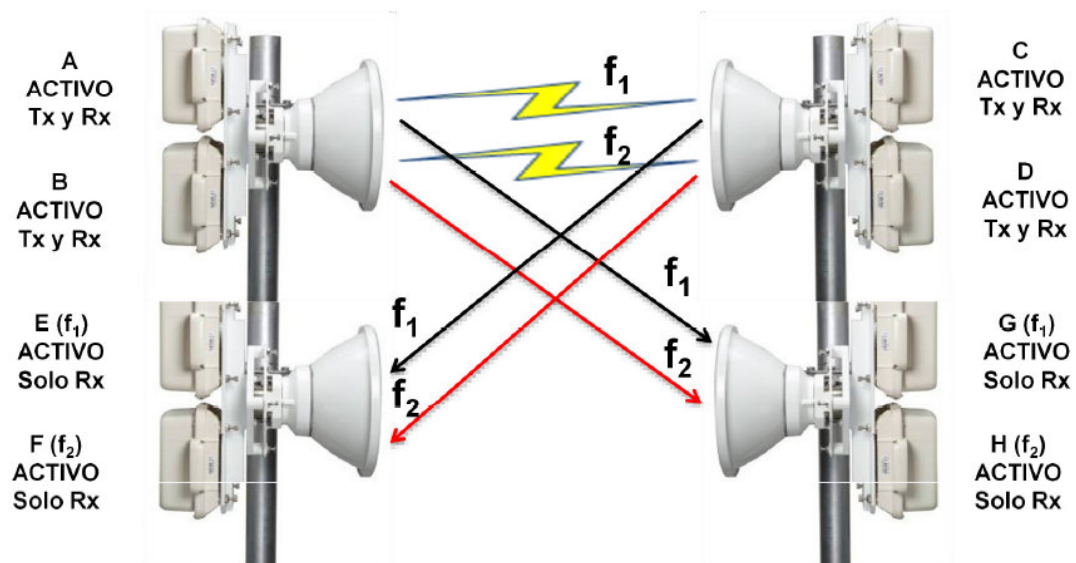


Figura 4-109: Configuración diversidad de frecuencia sobre diversidad de espacio

Para el diseño de esta red se va a usar la configuración de listo-en espera (1+1 HSB) y donde sea necesario se incluirá diversidad de espacio (1+1 SD).

4.5. Balance de enlace

Siguiendo con el diseño de la red, para cada radioenlace hay que tener en cuenta varios factores. Hasta ahora hemos visto en los apartados anteriores, por ejemplo, las condiciones de visibilidad directa teniendo en cuenta la curvatura equivalente de la Tierra en condiciones normales de refracción atmosférica. Esto cómo ya se ha comprobado influye en mayor medida en los vanos más largos. En los casos dónde la refractividad es desfavorable, también debe preverse el despejamiento necesario en función de la atenuación por difracción admisible para el valor del factor k de modificación del radio terrestre correspondiente, cuando el realce de los obstáculos produzca esa pérdida adicional de difracción.

En condiciones normales de propagación, con despejamiento adecuado, la pérdida básica de propagación es la de espacio libre más la debida a absorción por gases. Sin embargo, existen atenuaciones adicionales que se manifiestan en condiciones de propagación anómalas, dando lugar a desvanecimientos.

En total para las pérdidas básicas de propagación hay que tener en cuenta (L_b):

$$L_b = L_{bf} + L_{di} + L_d + L_p + L_p$$

Siendo:

- L_{bf} → pérdida en condiciones de espacio libre
- L_{di} → pérdida por difracción, debida a un despejamiento insuficiente en condiciones adversas de propagación
- L_d → pérdida por desvanecimiento, desenfoque y centelleo
- L_p → pérdida ocasionada por las precipitaciones
- L_p → pérdida debida a la absorción por gases atmosféricos

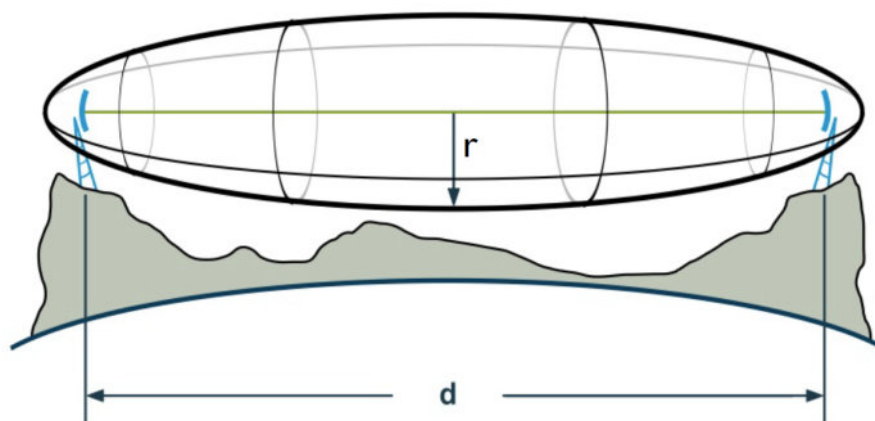
La atenuación por gases atmosféricos sólo tiene importancia en frecuencias superiores a 10 GHz por lo que no aplica a este caso.

Para las pérdidas por precipitaciones, en general para los cálculos de disponibilidad sólo es necesario evaluar ésta atenuación excedida durante porcentajes pequeños de tiempo y para frecuencias superiores a 6 GHz. (no aplica a este caso).

La pérdida por desvanecimiento, desenfoque y centelleo la cancelaremos incluyendo diversidad espacial en aquellos enlaces que sea necesario.

La pérdida por difracción debida a un despejamiento insuficiente se traduce en garantizar que no hay ningún obstáculo en la 1ª Zona de Fresnel. La 1ª Zona de Fresnel es un volumen elipsoidal alrededor de la línea recta que une el transmisor con el receptor (línea de vista), es decir, este volumen alrededor de la línea de vista debe estar despejado de todo obstáculo para que la potencia que alcanza la antena receptora sea máxima.

Se verá más adelante en el perfil de cada enlace qué datos obtenemos, ya que depende de la frecuencia del enlace. A mayor frecuencia, menor es la 1ª Zona de Fresnel.

**Figura 4-110: Zona de Fresnel**

Hay que volver a realizar las simulaciones de cada uno de los enlaces y comprobar este despejamiento en la banda de operación de la red ya que la existencia de la línea de vista no garantiza el despeje de la Zona de Fresnel.

Así pues, se va a realizar para cada enlace el cálculo teórico del balance de enlace para definir el diseño final de la red.

El balance de enlace se define como que la potencia recibida será igual a:

$$Pr = Ptx + Gtx - Ltx - Lbf + Grx - Lrx$$

Siendo:

Pr: Potencia recibida (dBm)

Ptx: Potencia transmitida (dBm)

Gtx: Ganancia de la antena transmisora (dB)

Ltx: Pérdidas en el transmisor debidas a la línea de transmisión (acopladores, conectores,...) (dB).

Lbf: Pérdidas en condiciones de espacio libre que se definen con la siguiente fórmula

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad \text{dB}$$

f: frecuencia (MHz)

d: distancia (km)

Estas pérdidas en espacio libre indican que cuando las ondas de radio abandonan la antena transmisora se dispersan, por lo tanto la cantidad de energía que llega a la antena receptora es menor.

Grx: Ganancia de la antena receptora (dB)

Lrx: Pérdidas en el receptor debidas a acopladores, conectores,... (dB)

Este balance de enlace teórico, como vemos, sólo tiene en cuenta las pérdidas en espacio libre y las pérdidas en transmisión y recepción, pero no tiene en cuenta las pérdidas básicas de propagación que como hemos visto antes engloban muchos más pérdidas. Aunque por la frecuencia que se va a usar algunas no afectarán para conseguir unos resultados más reales se usará el software ATDI ICS Designer.

Se harán simulaciones para cada enlace introduciendo los datos de la especificación técnica anteriormente citada y las configuraciones propuestas dependiendo del vano.

El software es capaz de tener en cuenta todas estas atenuaciones. Para este caso, se ha tenido en cuenta los siguientes modelos:

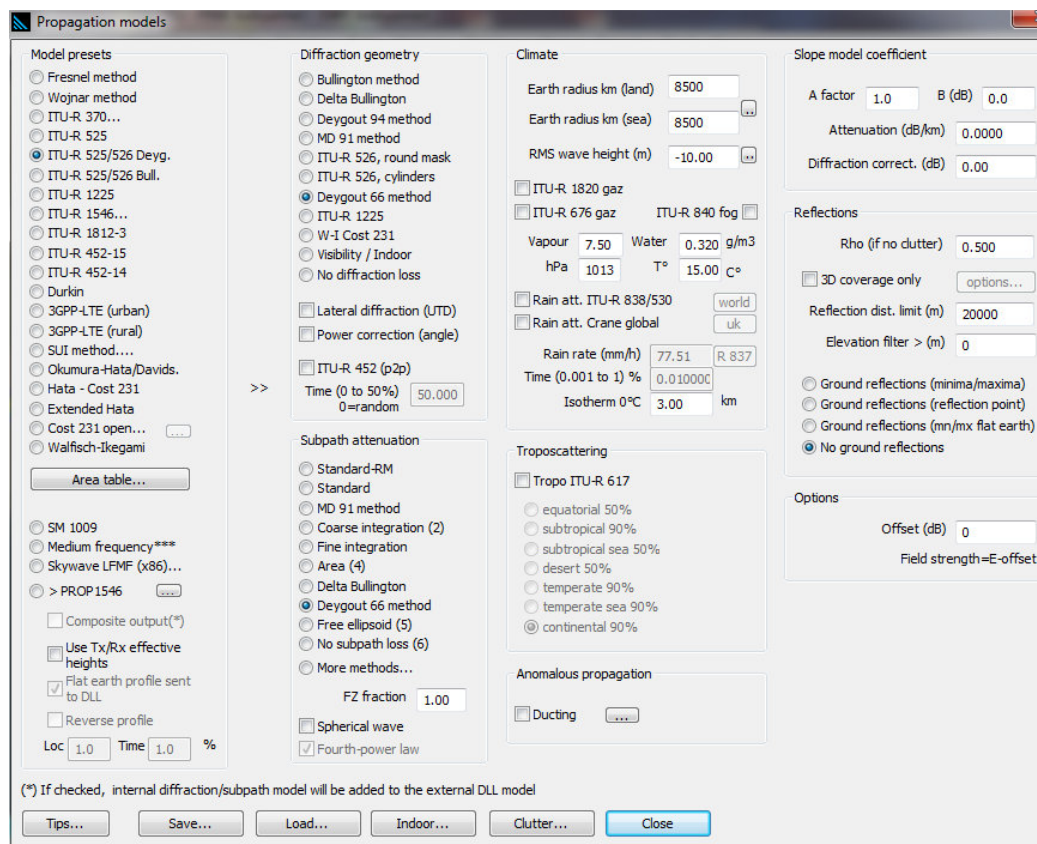


Figura 4-111: Modelos de propagación

El modelo de propagación que se ha usado para hacer las simulaciones es el modelo ITU-R 525 que especifica el cálculo para la atenuación en espacio libre. Esta recomendación para los enlaces punto a punto calcula la pérdida básica de transmisión en el espacio libre con la fórmula especificada más arriba.

Para la geometría de difracción se ha usado el método Deygout 66. Este método es uno de los más usados para predecir las pérdidas por difracción, se basa en cálculos simples de geometría sobre el trayecto para calcular la pérdida de difracción total como una combinación de difracciones.

4.5.1. Enlace Aden-Taiz

4.5.1.1. *Aden-Rep1A*

Para hacer el cálculo teórico se ha calculado primero las pérdidas en espacio libre, y se ha tomado como frecuencia 5 GHz y como distancia 105,79 km de este primer enlace.

Por lo que salen unas pérdidas en espacio libre de 146,87 dB.

Se va usar la configuración con protección listo en espera por lo que al usar un acoplador tenemos que considerar unos 3,5 dB y adicionalmente vamos a incluir 0,5 dB por pérdidas en conectores.

Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-61,67	28,00	32,60	4,00	146,87	32,60	4,00

Tabla 4-36: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es -78,50 dBm, por diseño se recomienda dejar siempre mínimo unos 20 dB de margen por posibles desvanecimientos que nos podamos encontrar al montar el radioenlace en campo. Por tanto, se calcula el balance de enlace para la ganancia de la antena de 1,8 metros de diámetro.

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-53,67	28,00	36,60	4,00	146,87	36,60	4,00

Tabla 4-37: Balance de enlace ganancia antena 1,8 m

Ahora sí, la potencia recibida con esta antena nos permite tener un margen frente al desvanecimiento mayor de 20 dBs (unos 24,83 dB)

Por lo que se usaran estos datos para hacer la simulación del enlace con el software ATDI ICS Designer. Se buscará una disponibilidad por vano de 99,99%.

Microwave link parameters: 4-5 Enlace1

General Patterns Site Equipment Objectives

Ident Enlace1 ☒ bi-directional ☐ Passive... Parameters... Reflector... 0.0 dB Frequency plan

Date 20150118 yyymdd User * Base... Status Modulation 16-QAM (6)

Station A

Address Aden

info (1) *

Channel

Freq (MHz) 4500.000000 h

☐ F2 MHz: 0.000000 div...

1st antenna 20.00 m

☐ 2nd ant: 0.00 m 0 dB

Gain (dB) 36.60 T/R 36.60

Losses (dB) 4.00 tx 4.00 rx

Power dBm 28.00 Adlos 0.00

EIRP A (W): 1148.153218

Station B

Address Rep1A

info (1) *

Channel

Freq (MHz) 4700.000000 h

☐ F2 MHz: 0.000000 div...

1st antenna 20.00 m

☐ 2nd ant: 0.00 m 0 dB

Gain (dB) 36.60 T/R 36.60

Losses (dB) 4.00 tx 4.00 rx

Power dBm 28.00 Adlos 0.00

EIRP B (W): 1148.153218

Common

Bandwidth (kHz) 28000.00

Dynamic (dB) 0

Mbit/s 80.0000

Thresh. (dBm) -6/-3 -78.5 -81.5

KTBf (dBm) -97 calc

PSK 0 upd

Kn (signature, 0=no eq) 5.50 5.50

10-6 10-3

C/I req N=0/N=1 0.0 0.0

Tropo

Diver. order 2 Eq margin 0

Squint loss 0.0 Noise fig. 0.0

NFD

TS-RIF

Load... Save... Report... Multimedia... Frequencies... SQL equipmt... Adaptive modulation... Acceptar Cancelar

Figura 4-112: Configuración especificación técnica en ATDI ICS Designer

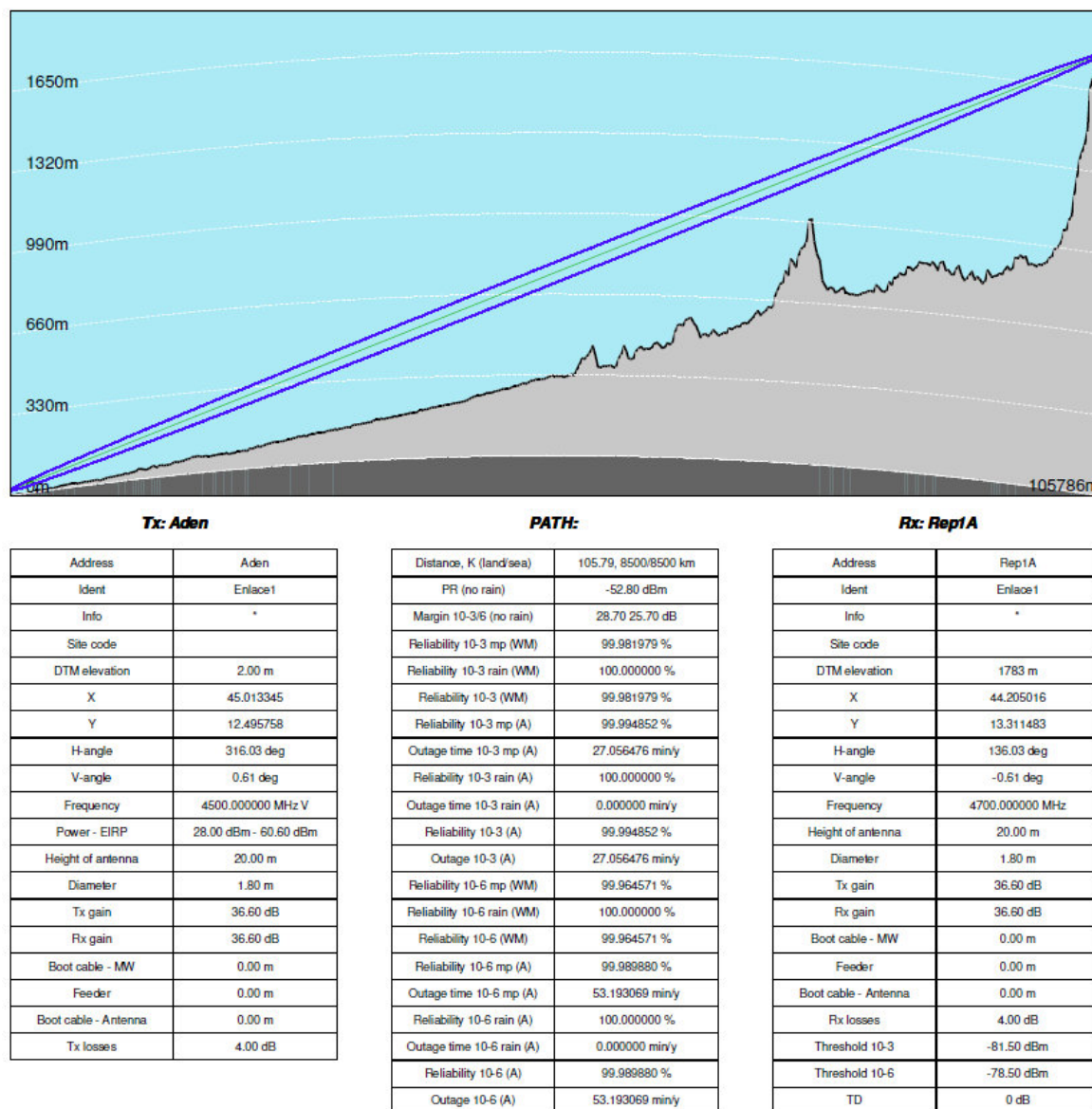


Figura 4-113: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)

Se verifica el despejamiento de la 1ª Zona de Fresnel para esta banda de frecuencias y se observa que la disponibilidad del enlace obtenida no llega al 99,99%.

Se trata de un enlace muy largo por lo que para incluir robustez se realiza la simulación incluyendo diversidad de espacio.

Al incluir diversidad de espacio ya no haría falta el acoplador porque ya no sería una configuración listo en espera, por tanto las pérdidas tanto en transmisión como en recepción disminuirían y pasarían a ser unos 0,5 dB que son las pérdidas que se han tenido en cuenta para los conectores.

Según la fórmula de separación entre antenas de diversidad de espacio, sería aprox. 150 veces la longitud de onda, para las frecuencias de 4,5 GHz, obtendríamos unos 10 metros de separación entre antenas de diversidad de espacio. Colocamos las antenas a 15 metros y 25 metros.

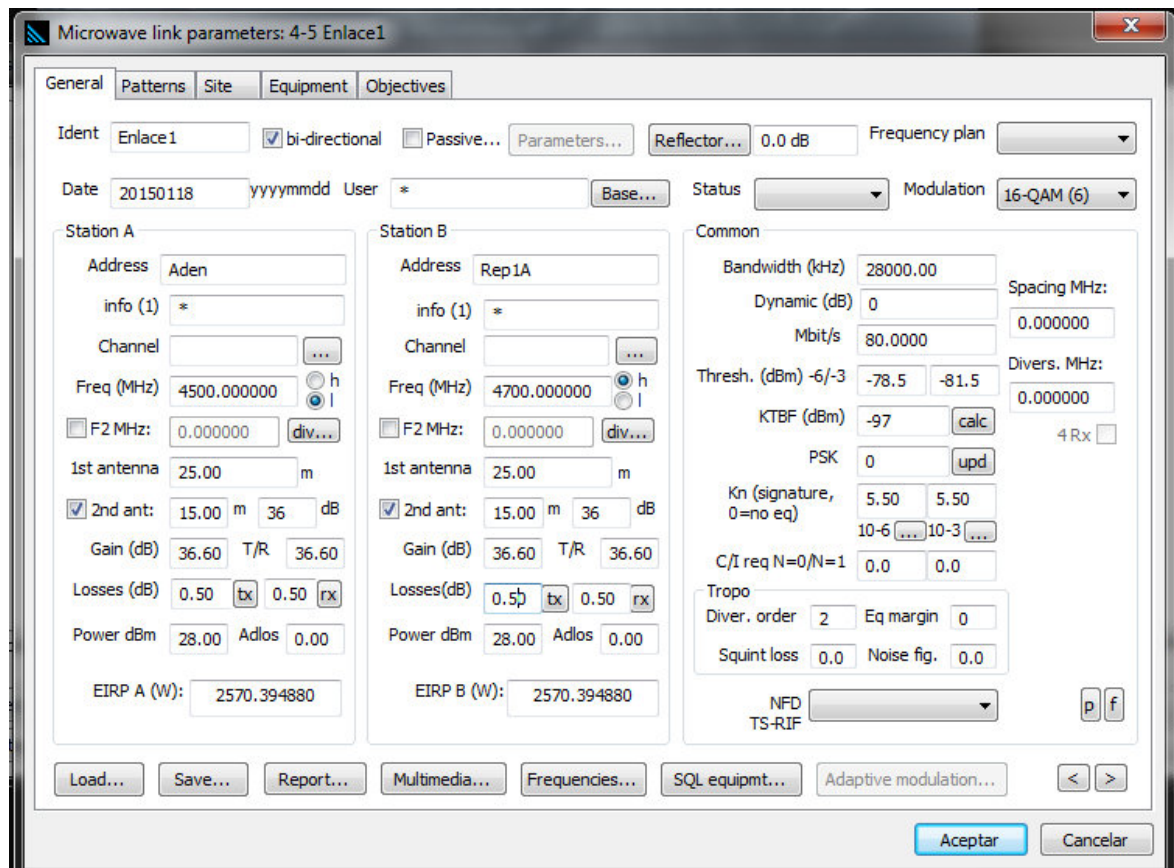


Figura 4-114: Configuración especificación técnica en ATDI ICS Designer

Se obtiene en la simulación.

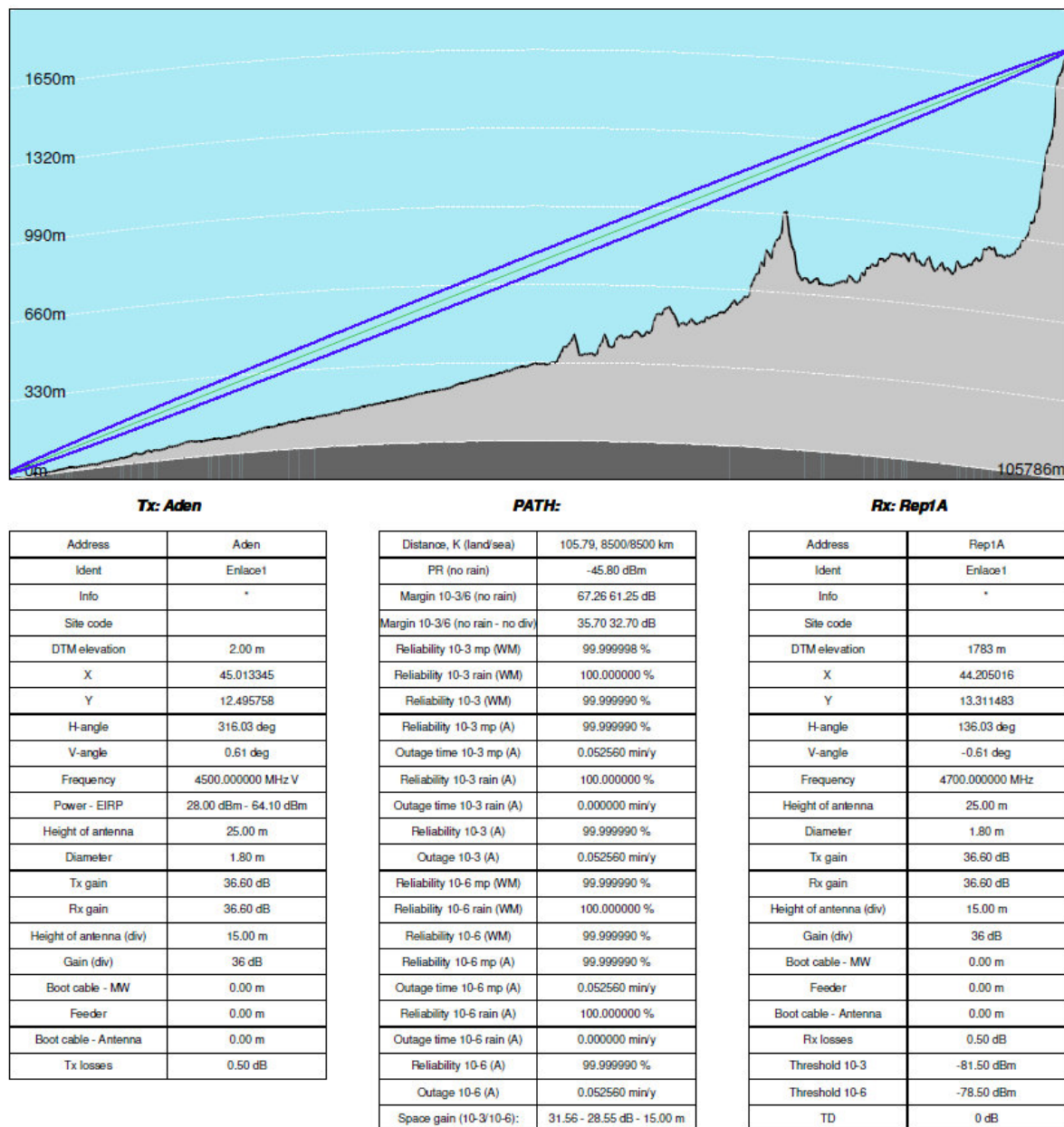


Figura 4-115: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

El enlace es viable al 99,99%.

4.5.1.2. *Rep1A-Taiz*

Se realiza el cálculo teórico del balance de enlace para este enlace. Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-54,47	28,00	30,46	4,00	135,39	30,46	4,00

Tabla 4-38: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es de -78,50 dBm, se consigue un margen frente al desvanecimiento mayor a 20 dB por tanto se usará esta especificación para hacer la simulación con el software y llegar a una disponibilidad del 99,99%.

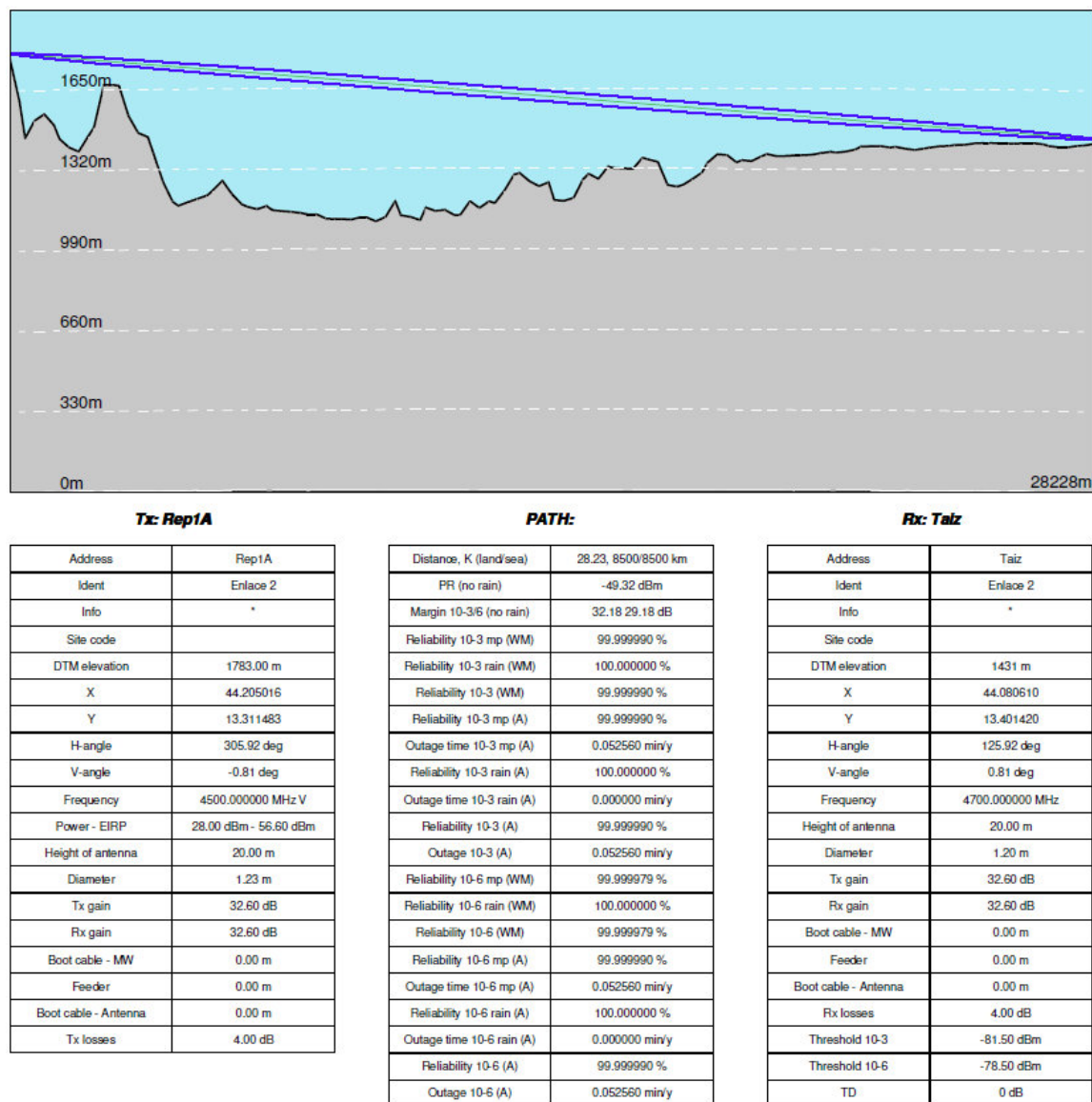


Figura 4-116: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

Se verifica el despejamiento de la 1ª Zona de Fresnel para esta banda de frecuencias y se observa que la disponibilidad del enlace es del 99,99%.

4.5.1.3. Resumen enlace Aden-Taiz

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas
1	Aden Airport	Taiz Airport			134		
	Aden	Rep1A	15/25	15/25	105,79	1+1 SD	1.8
	Rep1A	Taiz	20	20	28,23	1+1 HSB	1.2

Tabla 4-39: Diseño enlace Aden-Taiz

4.5.2. Enlace Taiz-Hodeidah

4.5.2.1. Hodeidah-Rep2A

Para hacer el cálculo teórico se ha calculado primero las pérdidas en espacio libre, y se ha tomado como frecuencia 5 GHz y como distancia 90,17 km de este enlace.

Por lo que salen unas pérdidas en espacio libre de 145,48 dB.

A mayor distancia y mayor frecuencia, mayores serán las pérdidas en espacio libre.

Se va usar la configuración con protección listo en espera por lo que al usar un acoplador tenemos que considerar unos 3,5 dB y adicionalmente vamos a incluir 0,5 dB por pérdidas en conectores, cables, etc.

Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-60,28	28,00	32,60	4,00	145,48	32,60	4,00

Tabla 4-40: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es -78,50 dBm, por diseño se recomienda dejar siempre mínimo unos 20 dB de margen por posibles desvanecimientos que nos podamos encontrar al montar el radioenlace en campo. Por tanto, se calcula el balance de enlace para la ganancia de la antena de 1,8 metros de diámetro.

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-52,28	28,00	36,60	4,00	145,48	36,60	4,00

Tabla 4-41: Balance de enlace ganancia antena 1,8 m

Ahora sí, la potencia recibida con esta antena nos permite tener un margen frente al desvanecimiento mayor de 20 dBs (unos 26,22 dB)

Por lo que se usaran estos datos para hacer la simulación del enlace con el software ATDI ICS Designer. Se buscará una disponibilidad del vano de 99,99%.

Al hacer la simulación con estos datos, el enlace no llega a la disponibilidad objetivo por lo que para incluir robustez se realiza la simulación incluyendo diversidad de espacio.

Al incluir diversidad de espacio no haría falta el acoplador porque ya no sería una configuración listo en espera, por tanto las pérdidas tanto en transmisión como en recepción son de unos 0,5 dB.

Según la fórmula de separación entre antenas de diversidad de espacio, sería aprox. 150 veces la longitud de onda, para las frecuencias de 4,5 GHz, obtendríamos unos 10 metros de separación entre antenas de diversidad de espacio. Colocamos las antenas a 15 metros y 25 metros.

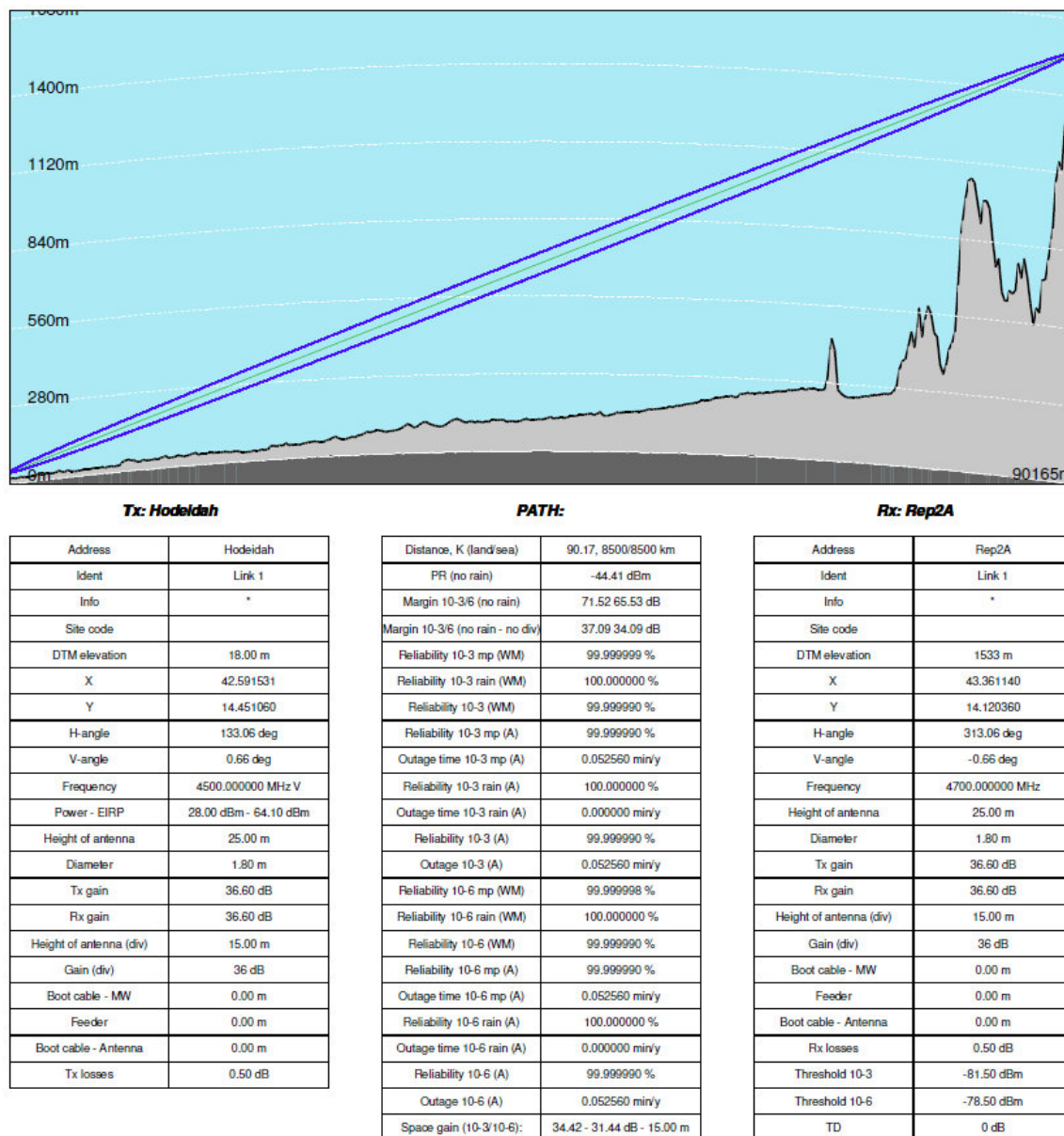


Figura 4-117: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

Se verifica el despejamiento de la 1ª zona de Fresnel y el enlace es viable al 99,99%.

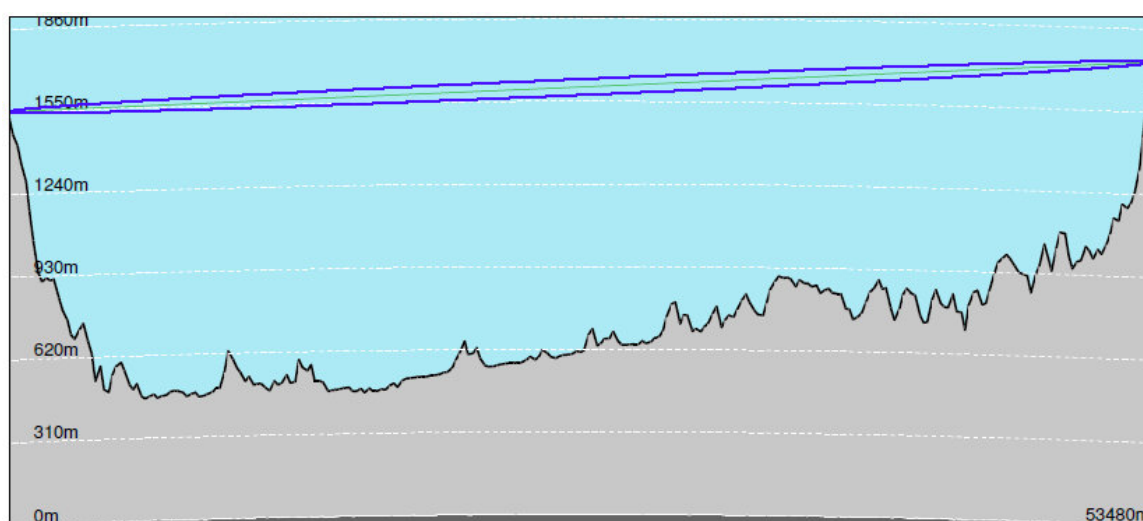
4.5.2.2. *Rep2A-Rep2B*

Se realiza el cálculo teórico del balance de enlace para este enlace. Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-55,74	28,00	32,60	4,00	140,94	32,60	4,00

Tabla 4-42: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es de -78,50 dBm, se consigue un margen frente al desvanecimiento mayor a 20 dB por tanto se usará esta especificación para hacer la simulación con el software y obtener una disponibilidad del 99,99%.



Tx: Rep2A		PATH:		Rx: Rep2B	
Address	Rep2A	Distance, K (land/sea)	53.48, 8500/8500 km	Address	Rep2B
Ident	Link 2	PR (no rain)	-54.87 dBm	Ident	Link 2
Info	*	Margin 10-3/6 (no rain)	26.63 23.63 dB	Info	*
Site code		Reliability 10-3 mp (WM)	99.999090 %	Site code	
DTM elevation	1533.00 m	Reliability 10-3 rain (WM)	100.000000 %	DTM elevation	1718 m
X	43.361140	Reliability 10-3 (WM)	99.999090 %	X	43.472170
Y	14.120360	Reliability 10-3 mp (A)	99.999727 %	Y	13.450550
H-angle	158.27 deg	Outage time 10-3 mp (A)	1.433230 min/y	H-angle	338.27 deg
V-angle	0.02 deg	Reliability 10-3 rain (A)	100.000000 %	V-angle	-0.02 deg
Frequency	4500.000000 MHz V	Outage time 10-3 rain (A)	0.000000 min/y	Frequency	4700.000000 MHz
Power - EIRP	28.00 dBm - 56.60 dBm	Reliability 10-3 (A)	99.999727 %	Height of antenna	20.00 m
Height of antenna	20.00 m	Outage 10-3 (A)	1.433230 min/y	Diameter	1.18 m
Diameter	1.23 m	Reliability 10-6 mp (WM)	99.998211 %	Tx gain	32.60 dB
Tx gain	32.60 dB	Reliability 10-6 rain (WM)	100.000000 %	Rx gain	32.60 dB
Rx gain	32.60 dB	Reliability 10-6 (WM)	99.998211 %	Boot cable - MW	0.00 m
Boot cable - MW	0.00 m	Reliability 10-6 mp (A)	99.999464 %	Feeder	0.00 m
Feeder	0.00 m	Outage time 10-6 mp (A)	2.818848 min/y	Boot cable - Antenna	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m	Reliability 10-6 rain (A)	100.000000 %	Rx losses	4.00 dB
Tx losses	4.00 dB	Outage time 10-6 rain (A)	0.000000 min/y	Threshold 10-3	-81.50 dBm
		Reliability 10-6 (A)	99.999464 %	Threshold 10-6	-78.50 dBm
		Outage 10-6 (A)	2.818848 min/y	TD	0 dB

Figura 4-118: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

Se verifica el despejamiento de la 1ª Zona de Fresnel para esta banda de frecuencias y se observa que la disponibilidad del enlace llega hasta el 99,99%.

4.5.2.3. Rep2B-Rep2C

Se realiza el cálculo teórico del balance de enlace para este enlace. Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-51,69	28,00	32,60	4,00	136,89	32,60	4,00

Tabla 4-43: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es de -78,50 dBm, se consigue un margen frente al desvanecimiento mayor a 20 dB por tanto se usará esta especificación para hacer la simulación con el software y llegar a una disponibilidad del 99,99%.

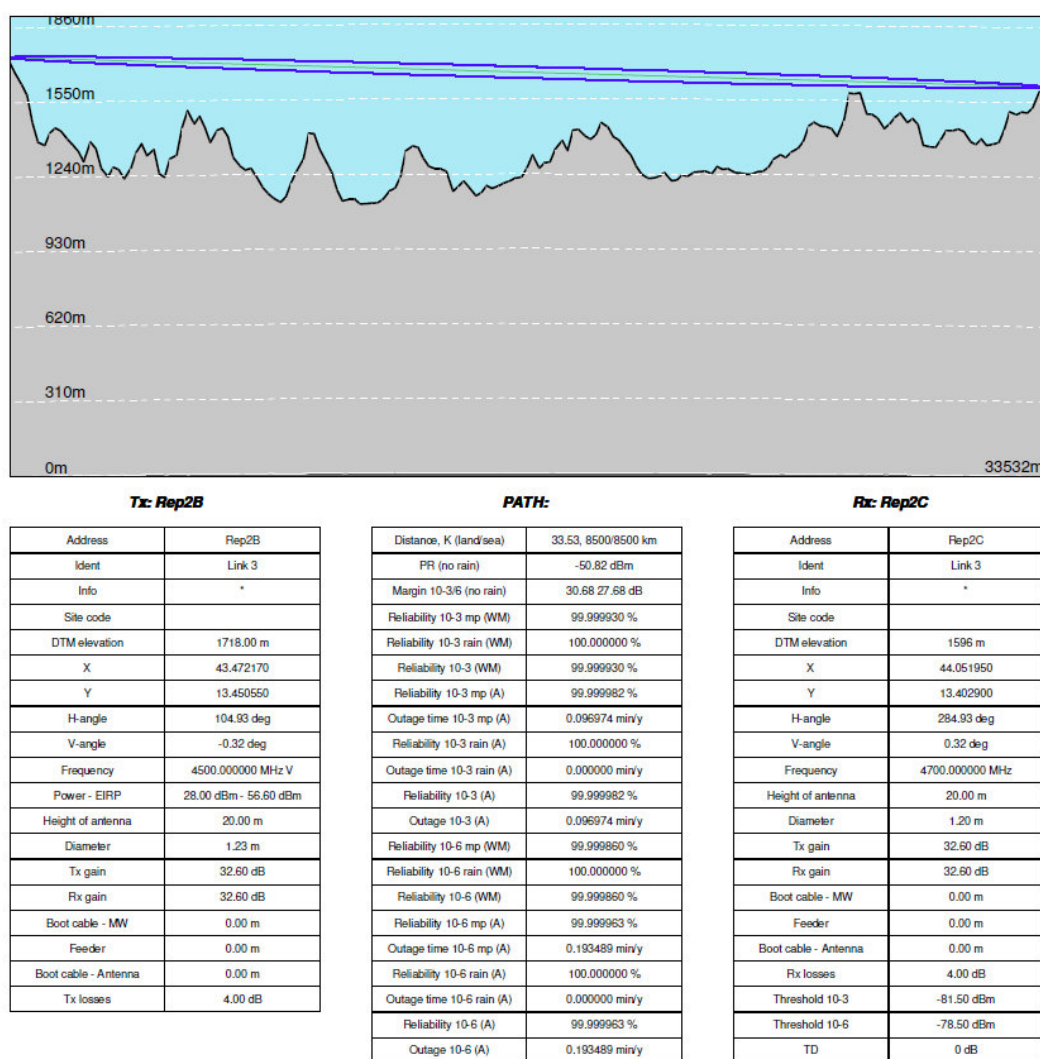


Figura 4-119: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

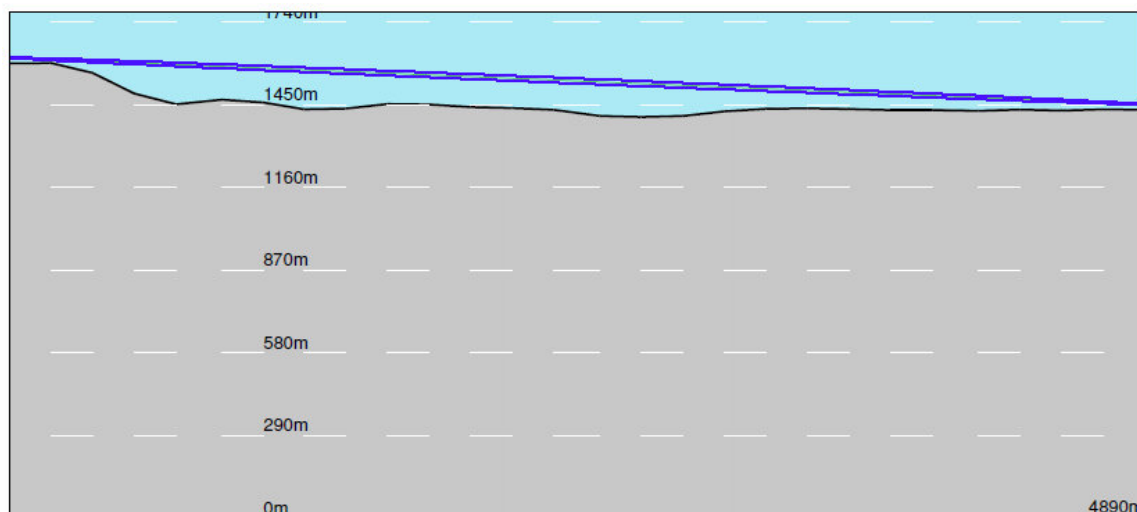
Se verifica el despejamiento de la 1ª Zona de Fresnel para esta banda de frecuencias y se observa que la disponibilidad del enlace es 99,99%.

4.5.2.4. *Rep2C-Taiz*

Se realiza el cálculo teórico del balance de enlace para este enlace. Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-34,97	28,00	32,60	4,00	120,17	32,60	4,00

Tabla 4-44: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m



Tx: Rep2C		PATH:		Rx: Taiz	
Address	Rep2C	Distance, K (land/sea)	4.89, 8500/8500 km	Address	Taiz
Ident	Link 4	PR (no rain)	-34.10 dBm	Ident	Link 4
Info	*	Margin 10-3/6 (no rain)	47.40 44.40 dB	Info	*
Site code		Reliability 10-3 mp (WM)	100.000000 %	Site code	
DTM elevation	1596.00 m	Reliability 10-3 rain (WM)	100.000000 %	DTM elevation	1432 m
X	44.051950	Reliability 10-3 (WM)	99.999990 %	X	44.080610
Y	13.402900	Reliability 10-3 mp (A)	99.999990 %	Y	13.401420
H-angle	96.34 deg	Outage time 10-3 mp (A)	0.052560 min/y	H-angle	276.34 deg
V-angle	-1.94 deg	Reliability 10-3 rain (A)	100.000000 %	V-angle	1.94 deg
Frequency	4500.000000 MHz V	Outage time 10-3 rain (A)	0.000000 min/y	Frequency	4700.000000 MHz
Power - EIRP	28.00 dBm - 56.60 dBm	Reliability 10-3 (A)	99.999990 %	Height of antenna	20.00 m
Height of antenna	20.00 m	Outage 10-3 (A)	0.052560 min/y	Diameter	1.20 m
Diameter	1.23 m	Reliability 10-6 mp (WM)	100.000000 %	Tx gain	32.60 dB
Tx gain	32.60 dB	Reliability 10-6 rain (WM)	100.000000 %	Rx gain	32.60 dB
Rx gain	32.60 dB	Reliability 10-6 (WM)	99.999990 %	Boot cable - MW	0.00 m
Boot cable - MW	0.00 m	Reliability 10-6 mp (A)	99.999990 %	Feeder	0.00 m
Feeder	0.00 m	Outage time 10-6 mp (A)	0.052560 min/y	Boot cable - Antenna	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m	Reliability 10-6 rain (A)	100.000000 %	Rx losses	4.00 dB
Tx losses	4.00 dB	Outage time 10-6 rain (A)	0.000000 min/y	Threshold 10-3	-81.50 dBm
		Reliability 10-6 (A)	99.999990 %	Threshold 10-6	-78.50 dBm
		Outage 10-6 (A)	0.052560 min/y	TD	0 dB

Figura 4-120: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

Se verifica el despejamiento de la 1ª Zona de Fresnel para esta banda de frecuencias y se observa que la disponibilidad del enlace llega hasta el 99,99%.

4.5.2.5. Resumen enlace Taiz-Hodeidah

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas
2	Taiz Airport	Hodeidah Airport			173		
	Hodeidah	Rep2A	15/25	15/25	90,17	1+1 SD	1.8
	Rep2A	Rep2B	20	20	53,48	1+1 HSB	1.2
	Rep2B	Rep2C	20	20	33,53	1+1 HSB	1.2
	Rep2C	Taiz	20	20	4,89	1+1 HSB	1.2

Tabla 4-45: Diseño enlace Taiz-Hodeidah

4.5.3. Enlace Hodeidah-Sanaa

4.5.3.1. Hodeidah-Rep3A

Para hacer el cálculo teórico se ha calculado primero las pérdidas en espacio libre, y se ha tomado como frecuencia 5 GHz y como distancia 89,36 km de este enlace.

Por lo que salen unas pérdidas en espacio libre de 145,40 dB.

Se va usar la configuración con protección listo en espera por lo que al usar un acoplador tenemos que considerar unos 3,5 dB y adicionalmente vamos a incluir 0,5 dB por pérdidas en conectores.

Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-60,20	28,00	32,60	4,00	145,40	32,60	4,00

Tabla 4-46: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es -78,50 dBm, por diseño se recomienda dejar siempre mínimo unos 20 dB de margen por posibles desvanecimientos que nos podamos encontrar al montar el radioenlace en campo. Por tanto, se calcula el balance de enlace para la ganancia de la antena de 1,8 metros de diámetro.

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-52,20	28,00	36,60	4,00	145,40	36,60	4,00

Tabla 4-47: Balance de enlace ganancia antena 1,8 m

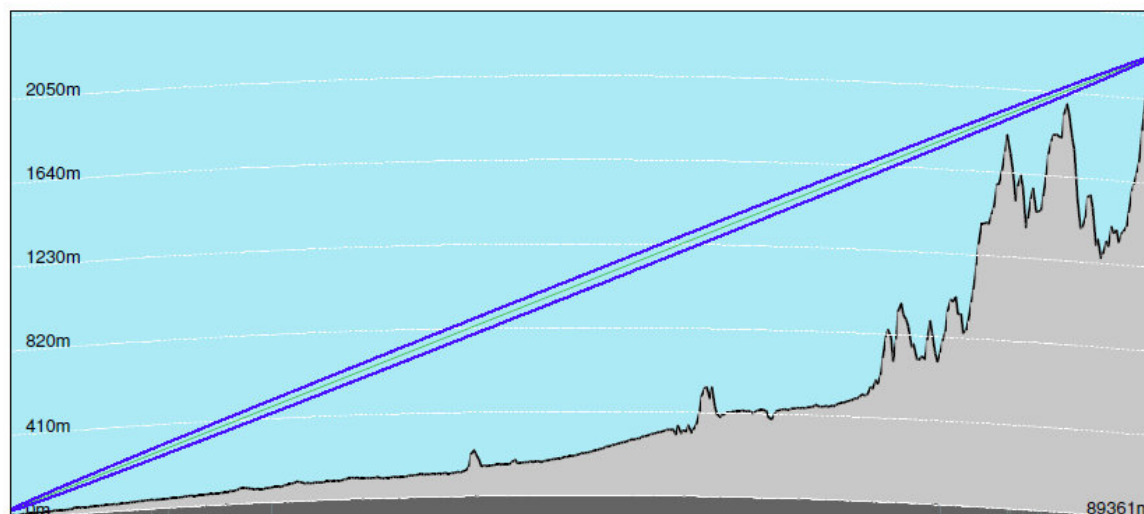
Ahora sí, la potencia recibida con esta antena nos permite tener un margen frente al desvanecimiento mayor de 20 dBs (unos 26,30 dB)

Por lo que se usaran estos datos para hacer la simulación del enlace con el software ATDI ICS Designer. Se buscará una disponibilidad por vano de 99,99%.

Al hacer la simulación con estos datos el enlace no llega a la disponibilidad objetivo por lo que para incluir robustez se realiza la simulación incluyendo diversidad de espacio.

Al incluir diversidad de espacio no haría falta el acoplador por lo que las pérdidas tanto en transmisión como en recepción se van a considerar de unos 0,5 dB.

Según la fórmula de separación entre antenas de diversidad de espacio, sería aprox. 150 veces la longitud de onda, para las frecuencias de 4,5 GHz, obtendríamos unos 10 metros de separación entre antenas de diversidad de espacio. Colocamos las antenas a 15 metros y 25 metros.



Tx: Hodeidah

Address	Hodeidah
Ident	Enlace 1
Info	*
Site code	
DTM elevation	18.00 m
X	42.591530
Y	14.451060
H-angle	62.66 deg
V-angle	1.12 deg
Frequency	4500.000000 MHz V
Power - EIRP	28.00 dBm - 64.10 dBm
Height of antenna	25.00 m
Diameter	1.80 m
Tx gain	36.60 dB
Rx gain	36.60 dB
Height of antenna (div)	15.00 m
Gain (div)	36 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Tx losses	0.50 dB

PATH:

Distance, K (land/sea)	89.36, 8500/8500 km
PR (no rain)	-44.33 dBm
Margin 10-3/6 (no rain)	73.20 67.17 dB
Margin 10-3/6 (no rain - no div)	37.17 34.17 dB
Reliability 10-3 mp (WM)	100.000000 %
Reliability 10-3 rain (WM)	100.000000 %
Reliability 10-3 (WM)	99.999990 %
Reliability 10-3 mp (A)	99.999990 %
Outage time 10-3 mp (A)	0.052560 min/y
Reliability 10-3 rain (A)	100.000000 %
Outage time 10-3 rain (A)	0.000000 min/y
Reliability 10-3 (A)	99.999990 %
Outage 10-3 (A)	0.052560 min/y
Reliability 10-6 mp (WM)	99.999990 %
Reliability 10-6 rain (WM)	100.000000 %
Reliability 10-6 (WM)	99.999990 %
Reliability 10-6 mp (A)	99.999990 %
Outage time 10-6 mp (A)	0.052560 min/y
Reliability 10-6 rain (A)	100.000000 %
Outage time 10-6 rain (A)	0.000000 min/y
Reliability 10-6 (A)	99.999990 %
Outage 10-6 (A)	0.052560 min/y
Space gain (10-3/10-6):	36.03 - 33.00 dB - 15.00 m

Rx: Rep3A

Address	Rep3A
Ident	Enlace 1
Info	*
Site code	
DTM elevation	2235 m
X	43.431870
Y	15.074450
H-angle	242.66 deg
V-angle	-1.12 deg
Frequency	4700.000000 MHz
Height of antenna	25.00 m
Diameter	1.80 m
Tx gain	36.60 dB
Rx gain	36.60 dB
Height of antenna (div)	15.00 m
Gain (div)	36 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Rx losses	0.50 dB
Threshold 10-3	-81.50 dBm
Threshold 10-6	-78.50 dBm
TD	0 dB

Figura 4-121: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

Se verifica el despejamiento de la 1ª zona de Fresnel y el enlace es viable al 99,99%.

4.5.3.2. Rep3A-Rep3B

Se realiza el cálculo teórico del balance de enlace para este enlace. Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-50,66	28,00	32,60	4,00	135,86	32,60	4,00

Tabla 4-48: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es de -78,50 dBm, se consigue un margen frente al desvanecimiento mayor a 20 dB por tanto se usará esta especificación para hacer la simulación con el software y llegar a una disponibilidad del 99,99%.

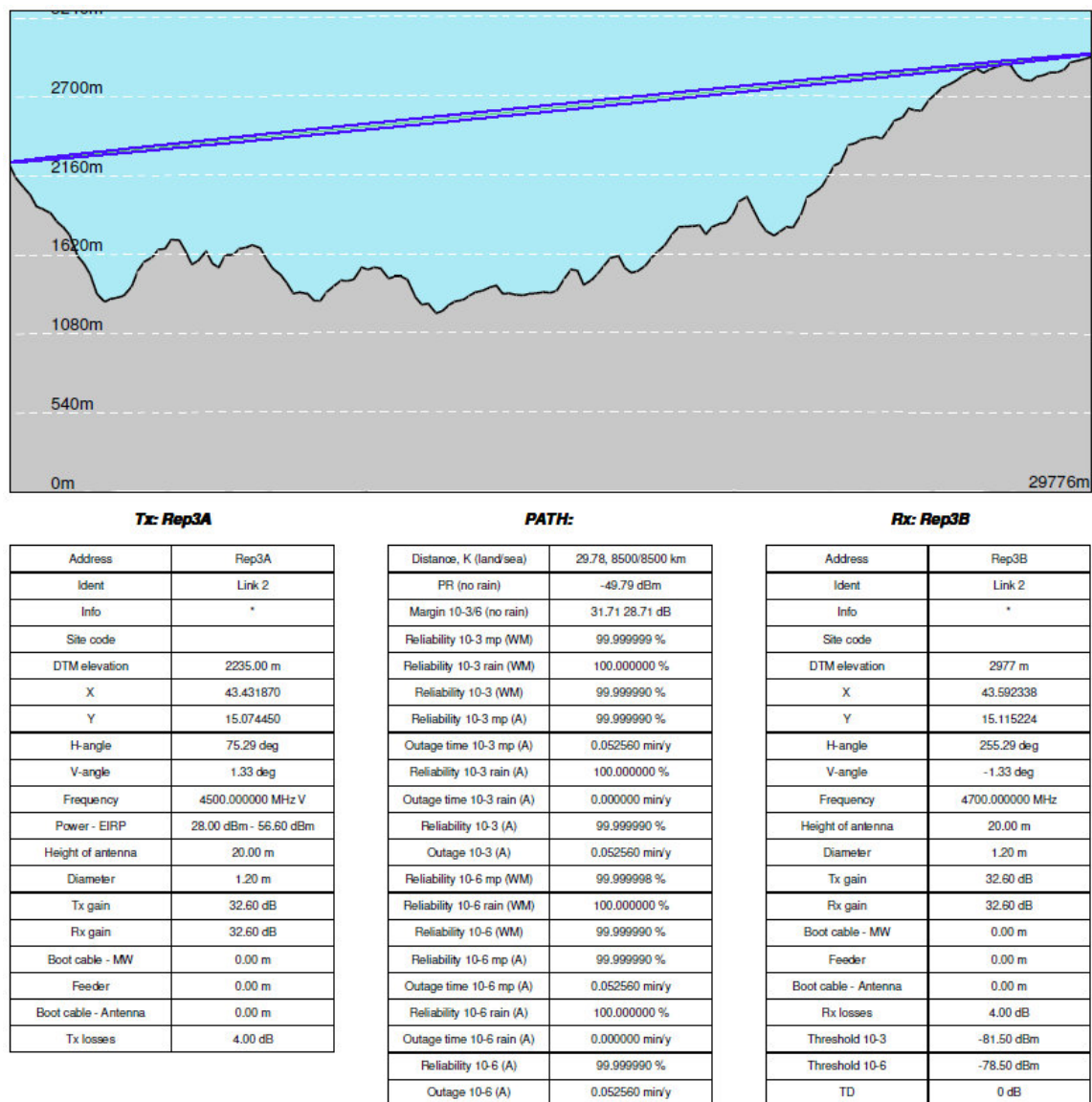


Figura 4-122: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

Se verifica el despejamiento de la 1ª Zona de Fresnel para esta banda de frecuencias y se observa que la disponibilidad del enlace llega hasta el 99,99%.

4.5.3.3. *Rep3B-Rep3C*

Se realiza el cálculo teórico del balance de enlace para este enlace. Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-49,14	28,00	32,60	4,00	134,34	32,60	4,00

Tabla 4-49: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es de -78,50 dBm, se consigue un margen frente al desvanecimiento mayor a 20 dB por tanto se usará esta especificación para hacer la simulación con el software y llegar a una disponibilidad del 99,99%.

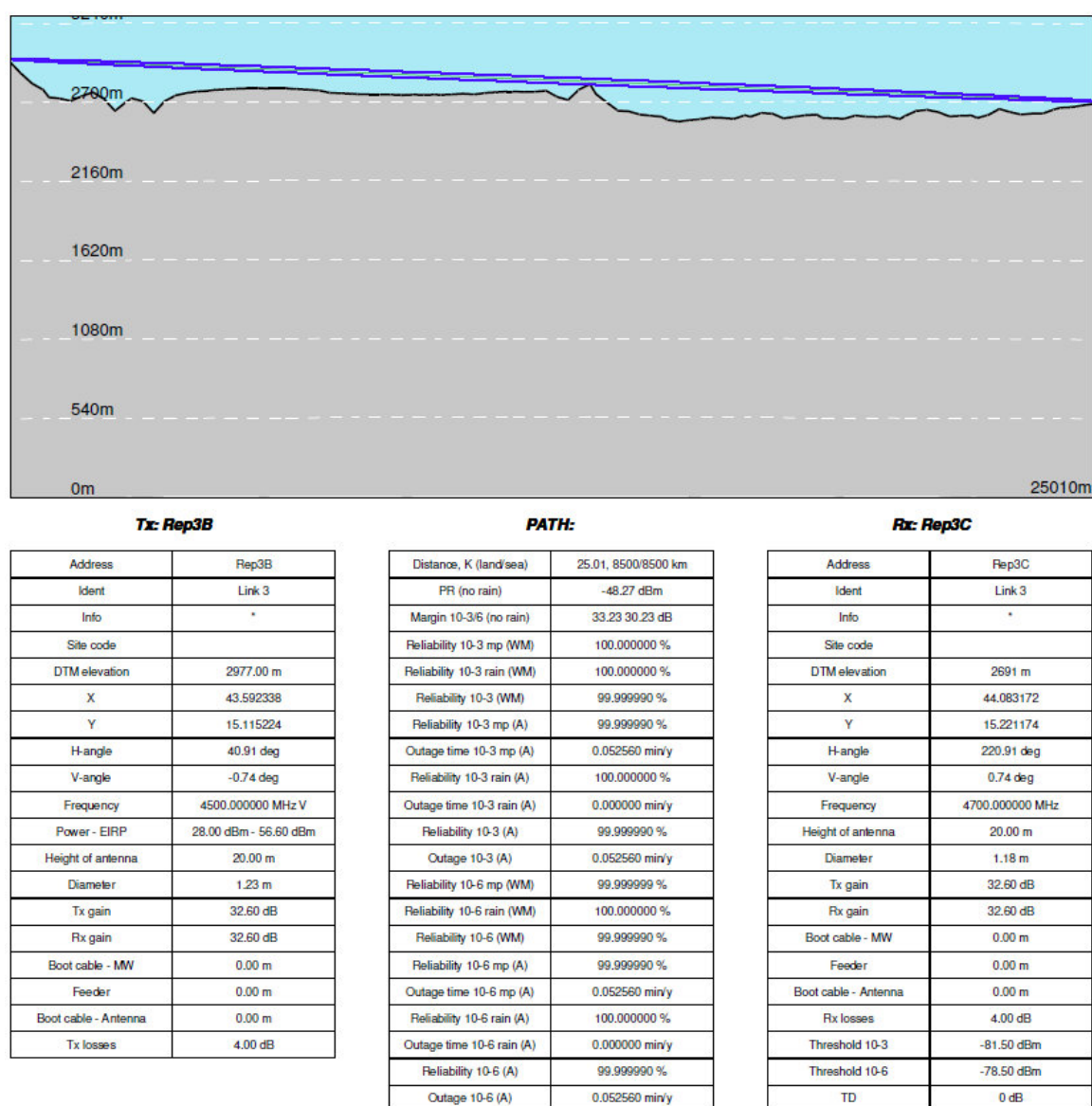


Figura 4-123: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

Se verifica el despejamiento de la 1ª Zona de Fresnel para esta banda de frecuencias y se observa que la disponibilidad del enlace llega hasta el 99,99%.

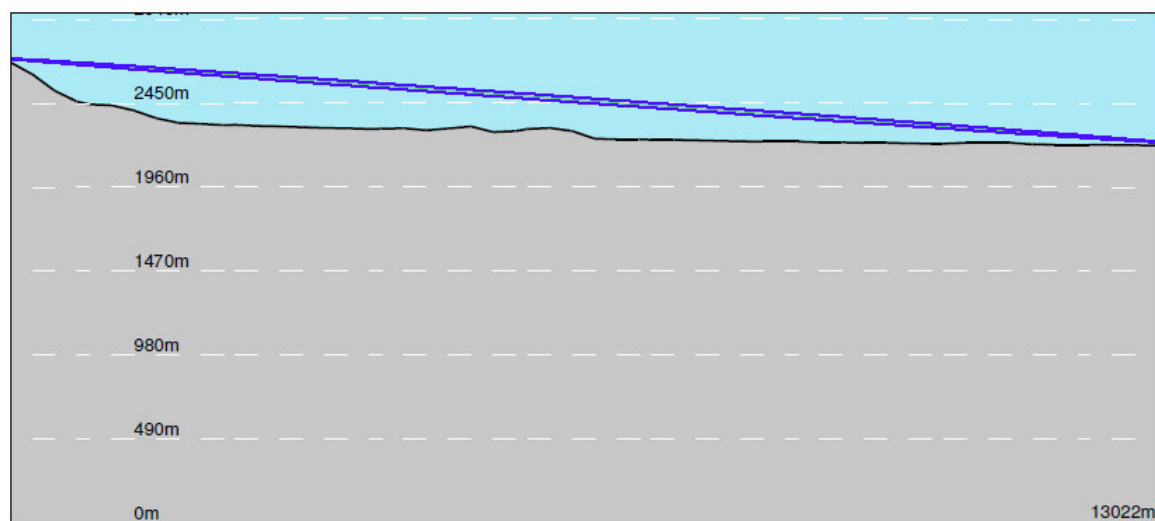
4.5.3.4. Rep3C-Sana

Se realiza el cálculo teórico del balance de enlace para este enlace. Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-43,47	28,00	32,60	4,00	128,67	32,60	4,00

Tabla 4-50: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es de -78,50 dBm, se consigue un margen frente al desvanecimiento mayor a 20 dB por tanto se usará esta especificación para hacer la simulación con el software y llegar a una disponibilidad del 99,99%.



Tx: Rep3C		PATH:		Rx: Sana	
Address	Rep3C	Distance, K (land/sea)	13.02, 8500/8500 km	Address	Sana
Ident	Link 4	PR (no rain)	-42.61 dBm	Ident	Link 4
Info	*	Margin 10-3/6 (no rain)	38.89 35.89 dB	Info	*
Site code		Reliability 10-3 mp (WM)	100.000000 %	Site code	
DTM elevation	2691.00 m	Reliability 10-3 rain (WM)	100.000000 %	DTM elevation	2205 m
X	44.083172	Reliability 10-3 (WM)	99.999990 %	X	44.131170
Y	15.221174	Reliability 10-3 mp (A)	99.999990 %	Y	15.273470
H-angle	40.52 deg	Outage time 10-3 mp (A)	0.052560 min/y	H-angle	220.52 deg
V-angle	-2.18 deg	Reliability 10-3 rain (A)	100.000000 %	V-angle	2.18 deg
Frequency	4500.000000 MHz V	Outage time 10-3 rain (A)	0.000000 min/y	Frequency	4700.000000 MHz
Power - EIRP	28.00 dBm - 56.60 dBm	Reliability 10-3 (A)	99.999990 %	Height of antenna	20.00 m
Height of antenna	20.00 m	Outage 10-3 (A)	0.052560 min/y	Diameter	1.20 m
Diameter	1.20 m	Reliability 10-6 mp (WM)	100.000000 %	Tx gain	32.60 dB
Tx gain	32.60 dB	Reliability 10-6 rain (WM)	100.000000 %	Rx gain	32.60 dB
Rx gain	32.60 dB	Reliability 10-6 (WM)	99.999990 %	Boot cable - MW	0.00 m
Boot cable - MW	0.00 m	Reliability 10-6 mp (A)	99.999990 %	Feeder	0.00 m
Feeder	0.00 m	Outage time 10-6 mp (A)	0.052560 min/y	Boot cable - Antenna	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m	Reliability 10-6 rain (A)	100.000000 %	Rx losses	4.00 dB
Tx losses	4.00 dB	Outage time 10-6 rain (A)	0.000000 min/y	Threshold 10-3	-81.50 dBm
		Reliability 10-6 (A)	99.999990 %	Threshold 10-6	-78.50 dBm
		Outage 10-6 (A)	0.052560 min/y	TD	0 dB

Figura 4-124: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

Se verifica el despejamiento de la 1ª Zona de Fresnel para esta banda de frecuencias y se observa que la disponibilidad del enlace llega hasta el 99,99%.

4.5.3.5. *Resumen enlace Hodeidah-Sanaa*

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas
3	Hodeidah Airport	Sanaa Airport			154		
	Hodeidah Airport	Rep3A	15/25	15/25	89,36	1+1 SD	1.8
	Rep3A	Rep3B	20	20	29,78	1+1 HSB	1.2
	Rep3B	Rep3C	20	20	25,01	1+1 HSB	1.2
	Rep3C	Sanaa Airport	20	20	13,02	1+1 HSB	1.2

Tabla 4-51: Diseño enlace Hodeidah-Sanaa

4.5.4. Enlace Sanaa-Ataq

4.5.4.1. *Ataq-Rep4A*

Para hacer el cálculo teórico se ha calculado primero las pérdidas en espacio libre, y se ha tomado como frecuencia 5 GHz y como distancia 71,99 km de este enlace.

Por lo que salen unas pérdidas en espacio libre de 143,52 dB.

Se va usar la configuración con protección listo en espera por lo que al usar un acoplador tenemos que considerar unos 3,5 dB y adicionalmente vamos a incluir 0,5 dB por pérdidas en conectores.

Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-58,32	28,00	32,60	4,00	143,52	32,60	4,00

Tabla 4-52: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es -78,50 dBm, por diseño se recomienda dejar siempre mínimo unos 20 dB de margen por posibles desvanecimientos que nos podamos encontrar al montar el radioenlace en campo. Por tanto, se calcula el balance de enlace para la ganancia de la antena de 1,8 metros de diámetro.

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-50,32	28,00	36,60	4,00	143,52	36,60	4,00

Tabla 4-53: Balance de enlace ganancia antena 1,8 m

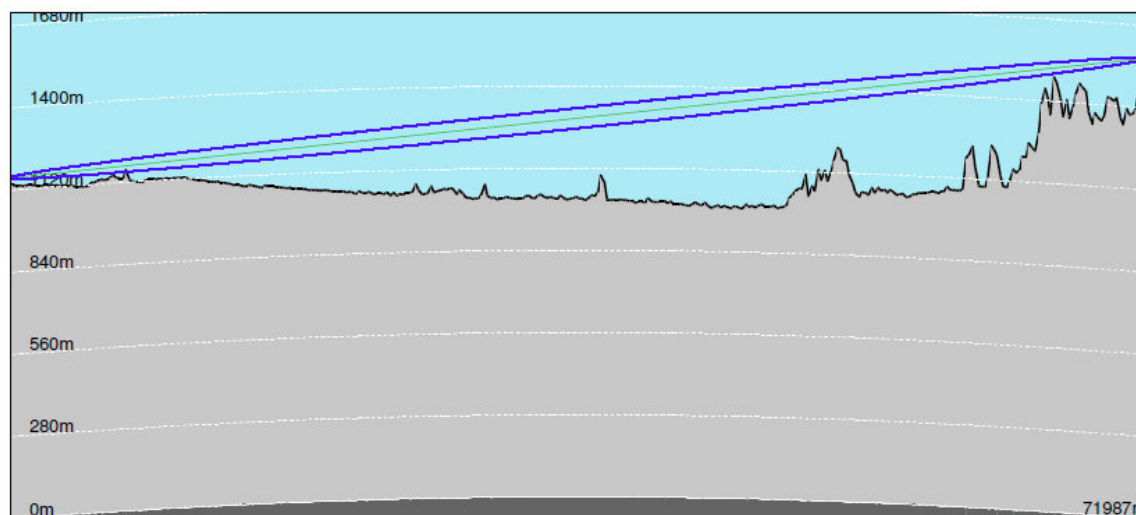
Ahora sí, la potencia recibida con esta antena nos permite tener un margen frente al desvanecimiento mayor de 20 dBs (unos 28,18 dB)

Por lo que se usaran estos datos para hacer la simulación del enlace con el software ATDI ICS Designer. Se buscará una disponibilidad por vano de 99,99%.

Al hacer la simulación con estos datos el enlace no llega a la disponibilidad objetivo por lo que para incluir robustez se realiza la simulación incluyendo diversidad de espacio.

Al incluir diversidad de espacio no haría falta el acoplador por lo que las pérdidas tanto en transmisión como en recepción se van a considerar de unos 0,5 dB.

Según la fórmula de separación entre antenas de diversidad de espacio, sería aprox. 150 veces la longitud de onda, para las frecuencias de 4,5 GHz, obtendríamos unos 10 metros de separación entre antenas de diversidad de espacio. Colocamos las antenas a 15 metros y 25 metros.



Tx: Ataq		PATH:		Rx: Rep4A	
Address	Ataq	Distance, K (land/sea)	71.99, 8500/8500 km	Address	Rep4A
Ident	Link 1	PR (no rain)	-42.45 dBm	Ident	Link 1
Info		Margin 10-3/6 (no rain)	77.42 71.40 dB	Info	
Site code		Margin 10-3/6 (no rain - no div)	39.05 36.05 dB	Site code	
DTM elevation	1138.00 m	Reliability 10-3 mp (WM)	100.000000 %	DTM elevation	1546 m
X	46.493860	Reliability 10-3 rain (WM)	100.000000 %	X	46.132806
Y	14.330840	Reliability 10-3 (WM)	99.999990 %	Y	14.495917
H-angle	295.16 deg	Reliability 10-3 mp (A)	99.999990 %	H-angle	115.16 deg
V-angle	0.08 deg	Outage time 10-3 mp (A)	0.052560 min/y	V-angle	-0.08 deg
Frequency	4500.000001 MHz V	Reliability 10-3 rain (A)	100.000000 %	Frequency	4700.000001 MHz
Power - EIRP	28.00 dBm - 64.10 dBm	Outage time 10-3 rain (A)	0.000000 min/y	Height of antenna	25.00 m
Height of antenna	25.00 m	Reliability 10-3 (A)	99.999990 %	Diameter	1.80 m
Diameter	1.80 m	Outage 10-3 (A)	0.052560 min/y	Tx gain	36.60 dB
Tx gain	36.60 dB	Reliability 10-6 mp (WM)	100.000000 %	Rx gain	36.60 dB
Rx gain	36.60 dB	Reliability 10-6 rain (WM)	100.000000 %	Height of antenna (div)	15.00 m
Height of antenna (div)	15.00 m	Reliability 10-6 (WM)	99.999990 %	Gain (div)	36 dB
Gain (div)	36 dB	Reliability 10-6 mp (A)	99.999990 %	Boot cable - MW	0.00 m
Boot cable - MW	0.00 m	Outage time 10-6 mp (A)	0.052560 min/y	Feeder	0.00 m
Feeder	0.00 m	Reliability 10-6 rain (A)	100.000000 %	Boot cable - Antenna	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m	Outage time 10-6 rain (A)	0.000000 min/y	Rx losses	0.50 dB
Tx losses	0.50 dB	Reliability 10-6 (A)	99.999990 %	Threshold 10-3	-81.50 dBm
		Outage 10-6 (A)	0.052560 min/y	Threshold 10-6	-78.50 dBm
		Space gain (10-3/10-6):	38.37 - 35.35 dB - 15.00 m	TD	0 dB

Figura 4-125: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

Se verifica el despejamiento de la 1ª zona de Fresnel y el enlace es viable al 99,99%.

4.5.4.2. *Rep4A-Rep4B*

Se realiza el cálculo teórico del balance de enlace para este enlace. Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-64,54	28,00	32,60	4,00	149,74	32,60	4,00

Tabla 4-54: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es de -78,50 dBm, no se consigue un margen frente al desvanecimiento mayor a 20 dB por tanto se calcula la potencia recibida usando la ganancia de la antena de 1,8 metros de di

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-56,54	28,00	36,60	4,00	149,74	36,60	4,00

Tabla 4-55: Balance de enlace ganancia antena 1,8 m

Ahora sí, se consigue un margen frente al desvanecimiento mayor a 20 dB y se hace la simulación con estos datos.

Al hacer la simulación con estos datos el enlace no llega a la disponibilidad objetivo por lo que para incluir robustez se realiza la simulación incluyendo diversidad de espacio.

Al incluir diversidad de espacio no haría falta el acoplador por lo que las pérdidas tanto en transmisión como en recepción se van a considerar de unos 0,5 dB.

Según la fórmula de separación entre antenas de diversidad de espacio, sería aprox. 150 veces la longitud de onda, para las frecuencias de 4,5 GHz, obtendríamos unos 10 metros de separación entre antenas de diversidad de espacio. Colocamos las antenas a 15 metros y 25 metros.

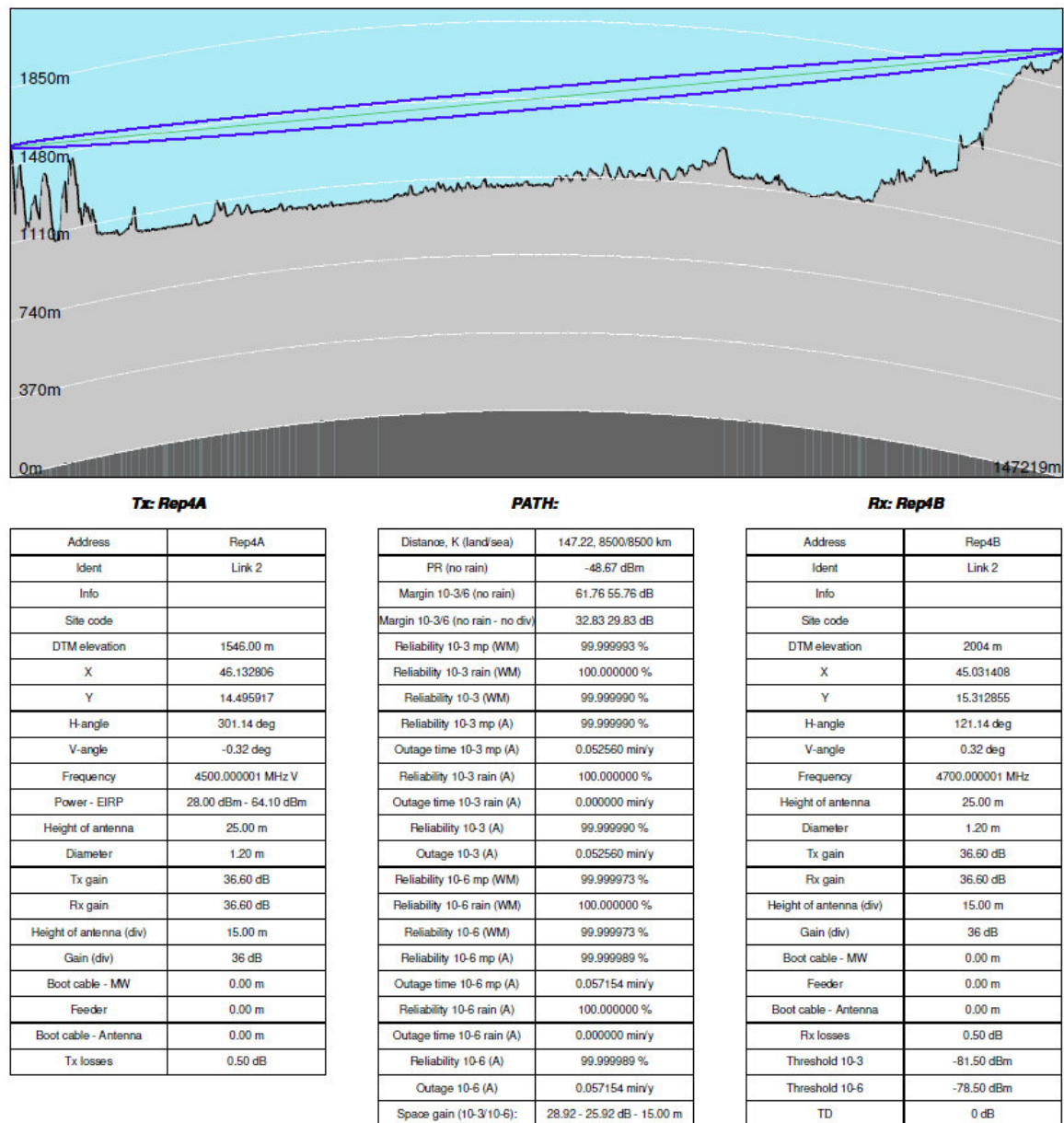


Figura 4-126: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

Se verifica el despejamiento de la 1ª zona de Fresnel y el enlace es viable al 99,99%.

4.5.4.3. *Rep4B-Rep4C*

Se realiza el cálculo teórico del balance de enlace para este enlace. Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-57,82	28,00	32,60	4,00	143,02	32,60	4,00

Tabla 4-56: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es de -78,50 dBm, se consigue un margen frente al desvanecimiento mayor a 20 dB por tanto se usará esta especificación para hacer la simulación con el software y llegar a una disponibilidad del 99,99%.

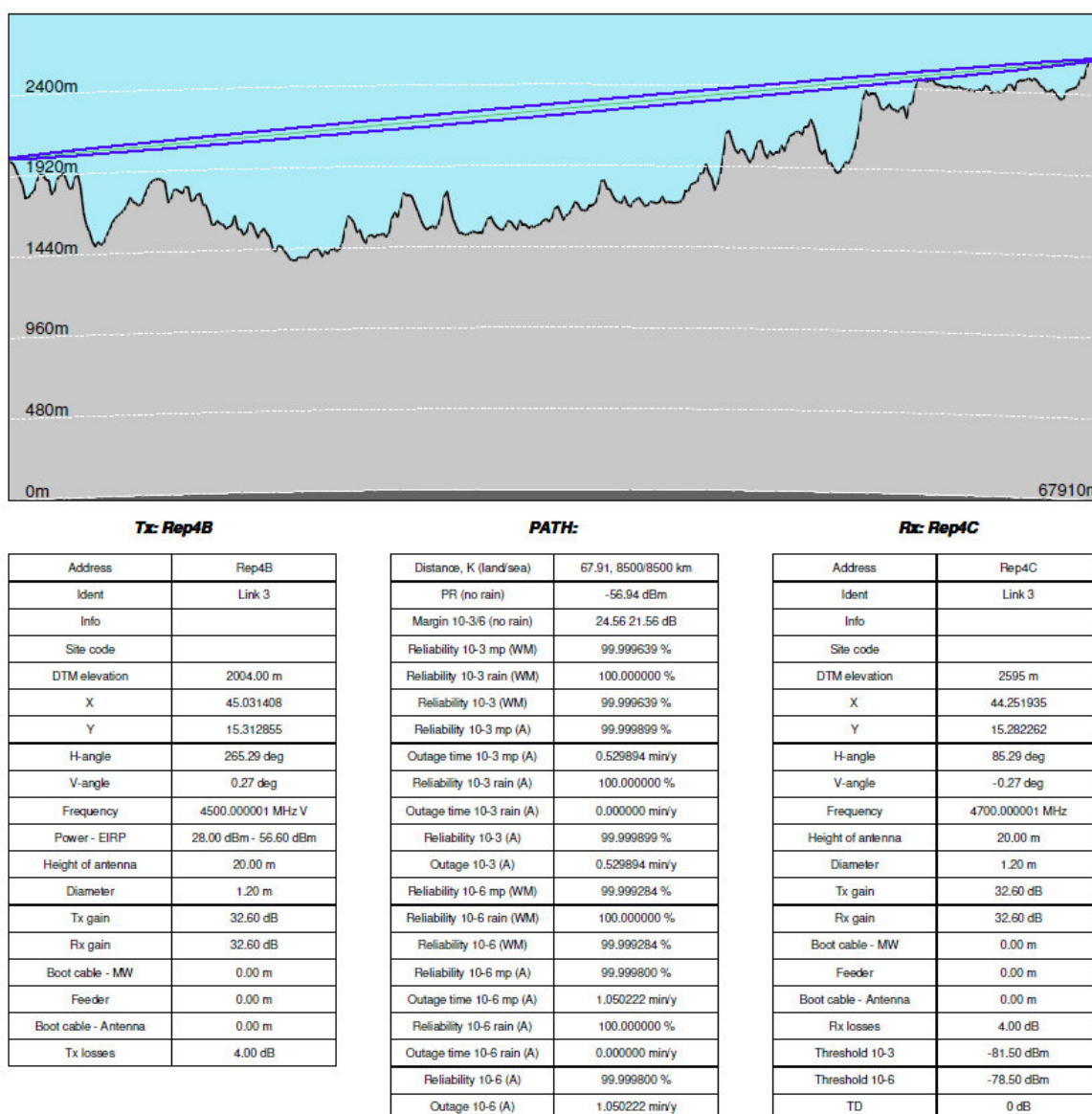


Figura 4-127: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

Se verifica el despejamiento de la 1ª Zona de Fresnel para esta banda de frecuencias y se observa que la disponibilidad del enlace es del 99,99%.

4.5.4.4. Enlace Rep4C-Sana

Se realiza el cálculo teórico del balance de enlace para este enlace. Usando las especificaciones técnicas y la ganancia de la antena de 1,2 metros de diámetro, se obtiene una potencia recibida de:

Pr(dBm)	Ptx(dBm)	Gtx(dB)	Ltx(dB)	Lbf(dB)	Grx(dB)	Lrx(dB)
-47,96	28,00	32,60	4,00	133,16	32,60	4,00

Tabla 4-57: Balance de enlace ganancia antena 1,2 m

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del receptor es de -78,50 dBm, se consigue un margen frente al desvanecimiento mayor a 20 dB por tanto se usará esta especificación para hacer la simulación con el software y llegar a una disponibilidad del 99,99%.

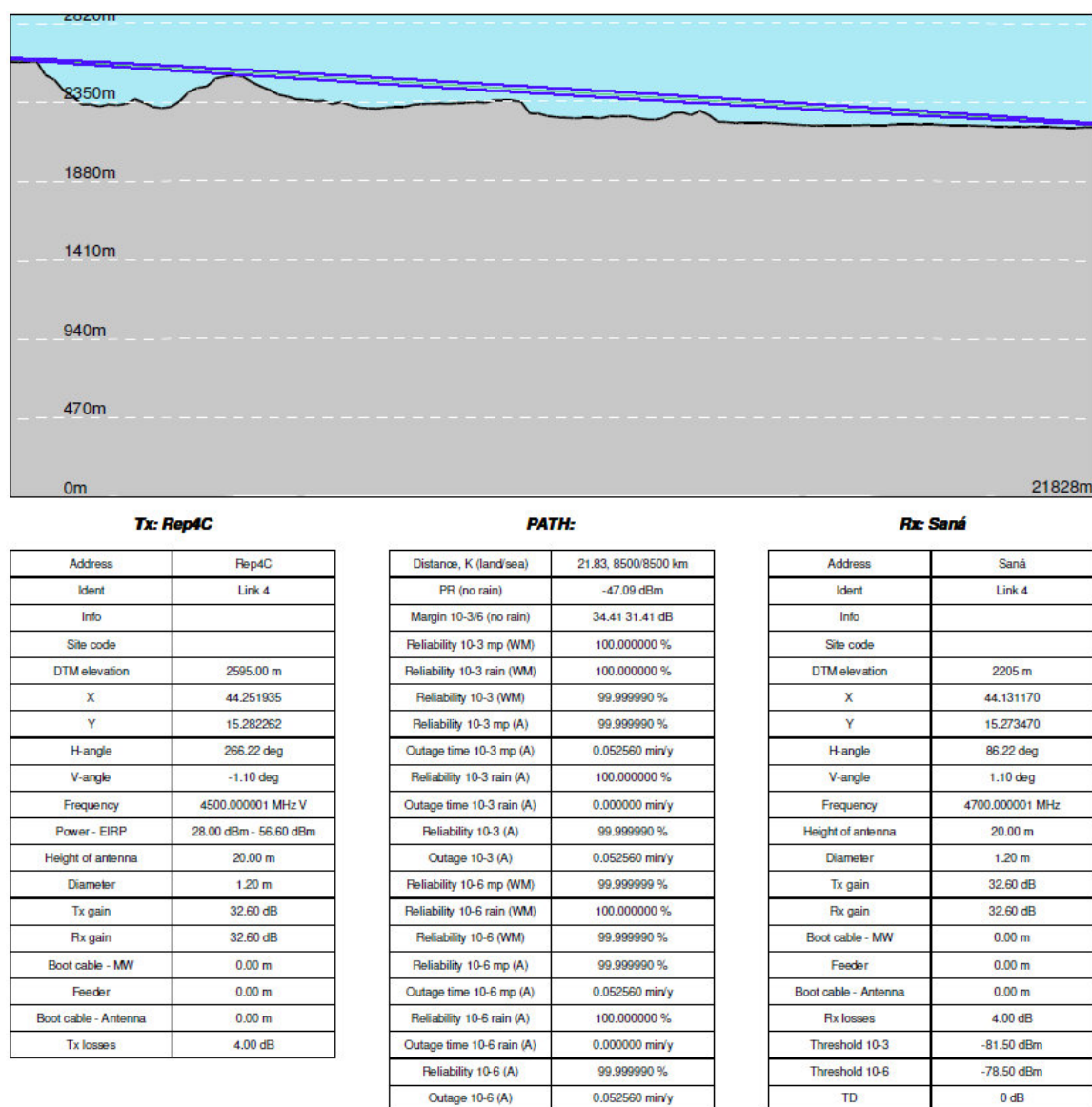


Figura 4-128: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

Se verifica el despejamiento de la 1ª Zona de Fresnel para esta banda de frecuencias y se observa que la disponibilidad del enlace es del 99,99%.

4.5.4.5. *Resumen enlace Sanaa-Ataq*

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas
4	Sanaa Airport	Ataq Airport			293		
	Ataq	Rep4A	15/25	15/25	71,99	1+1SD	1.8
	Rep4A	Rep4B	15/25	15/25	147,22	1+1SD	1.8
	Rep4B	Rep4C	20	20	67,91	1+1HSB	1.2
	Rep4C	Sanaa	20	20	21,83	1+1HSB	1.2

Tabla 4-58: Diseño enlace Sanaa-Ataq

4.5.5. Enlace Ataq-Aden

4.5.5.1. *Aden-Rep5A*

Se sigue el mismo procedimiento que en los apartados anteriores y se llega al siguiente diseño:

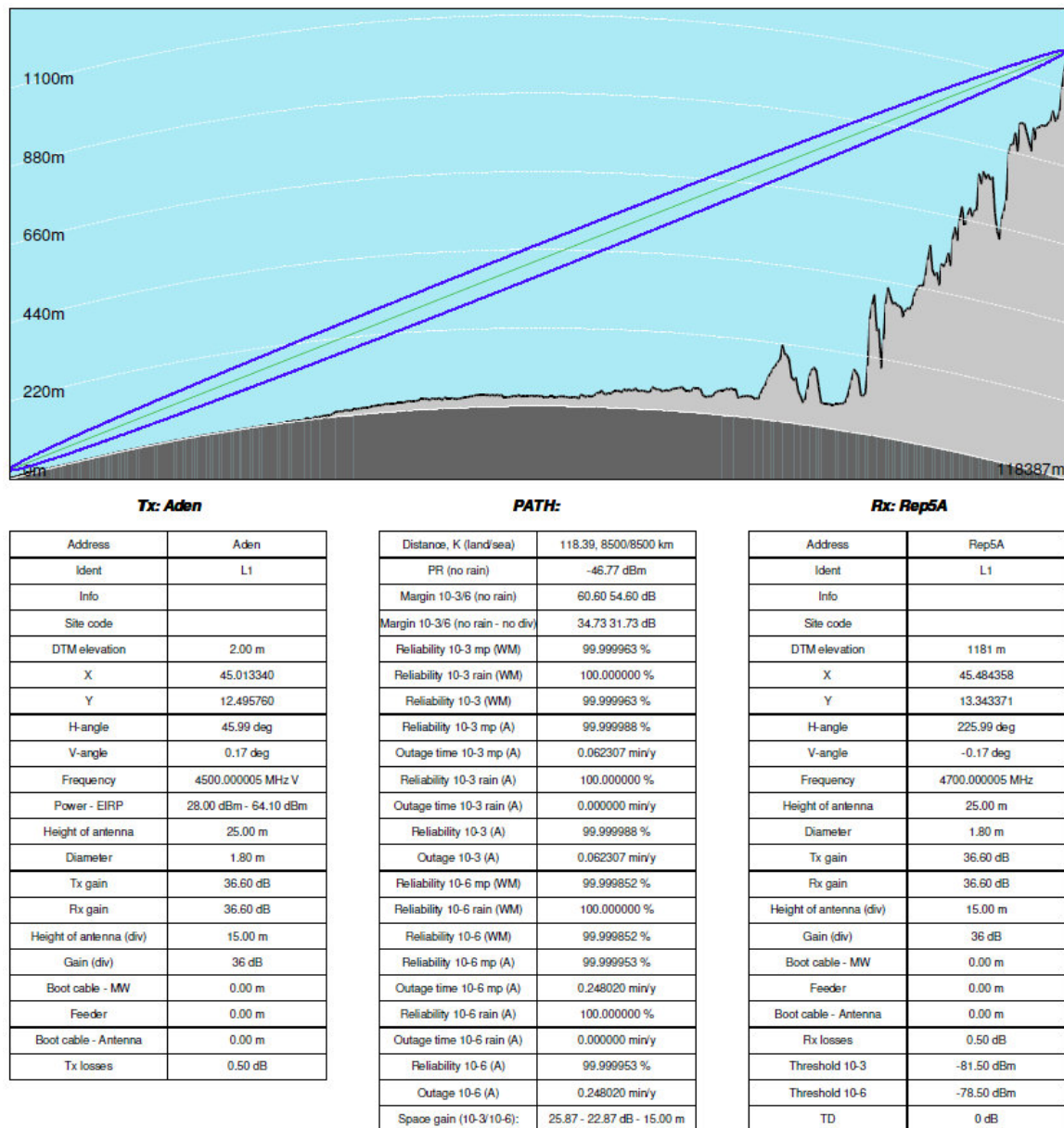


Figura 4-129: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

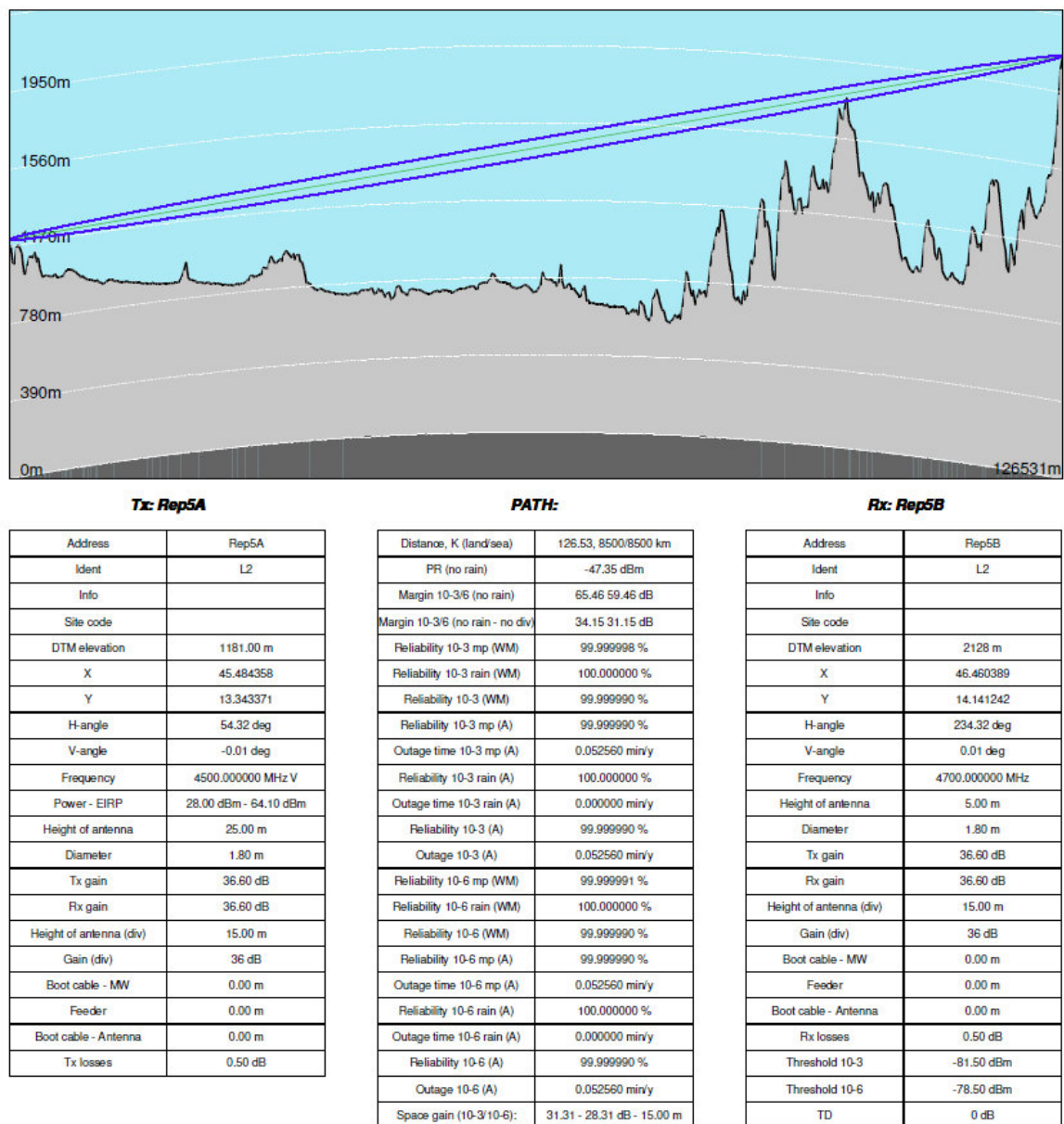
4.5.5.2. *Rep5A-Rep5B*

Figura 4-130: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

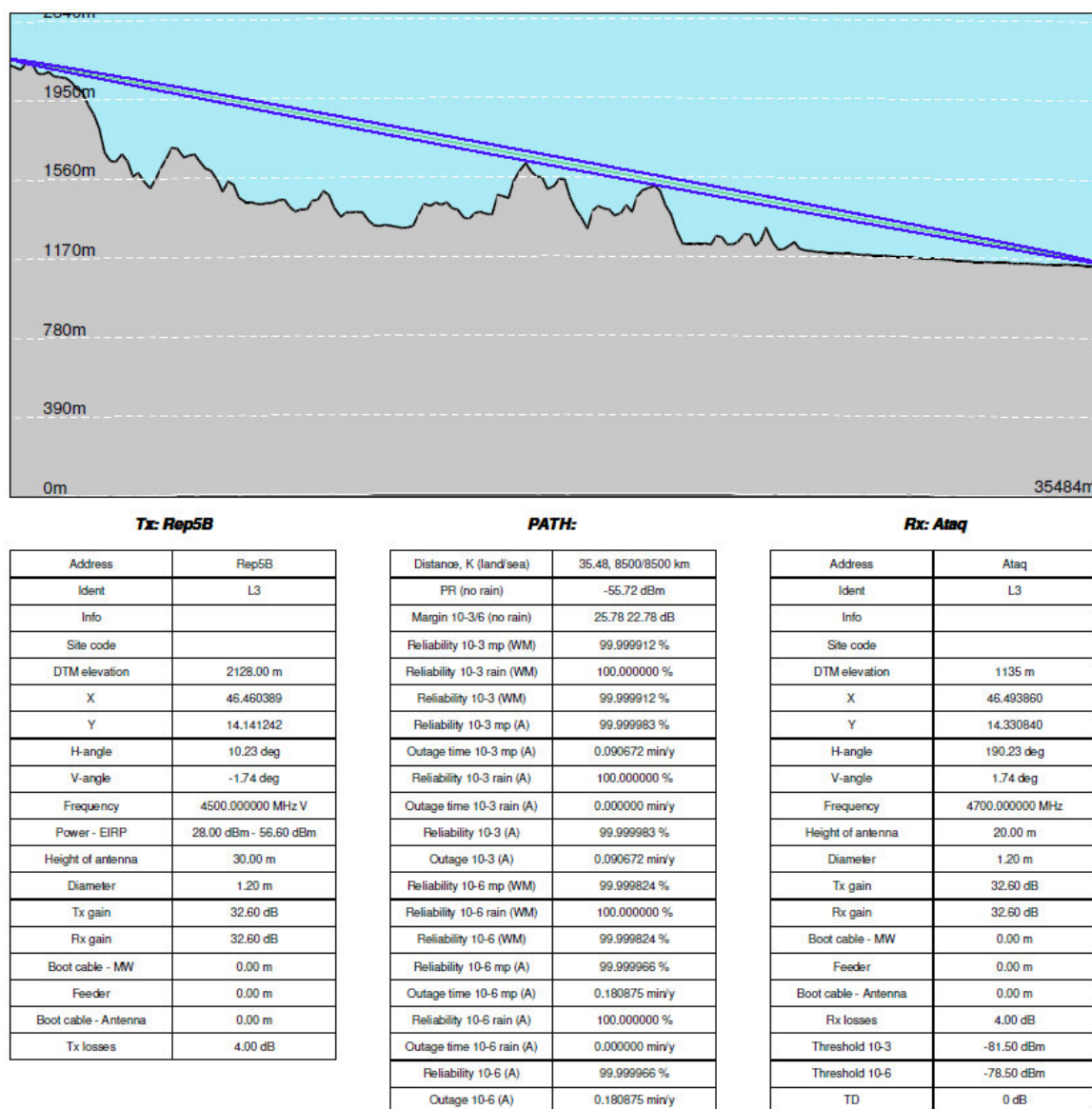
4.5.5.3. *Rep5B-Ataq*

Figura 4-131: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

4.5.5.4. *Resumen enlace Ataq-Aden*

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas
5	Ataq Airport	Aden Airport			273		
	Aden	Rep5A	15/25	15/25	118,39	1+1SD	1.8
	Rep5A	Rep5B	15/25	15/25	126,53	1+1SD	1.8
	Rep5B	Ataq	30	20	35,48	1+1HSB	1.2

Tabla 4-59: Diseño enlace Ataq-Aden

4.5.6. Enlace Ataq-Seiyun

4.5.6.1. Seiyun-Rep6A

Se sigue el mismo procedimiento que en los apartados anteriores y se llega al siguiente diseño:

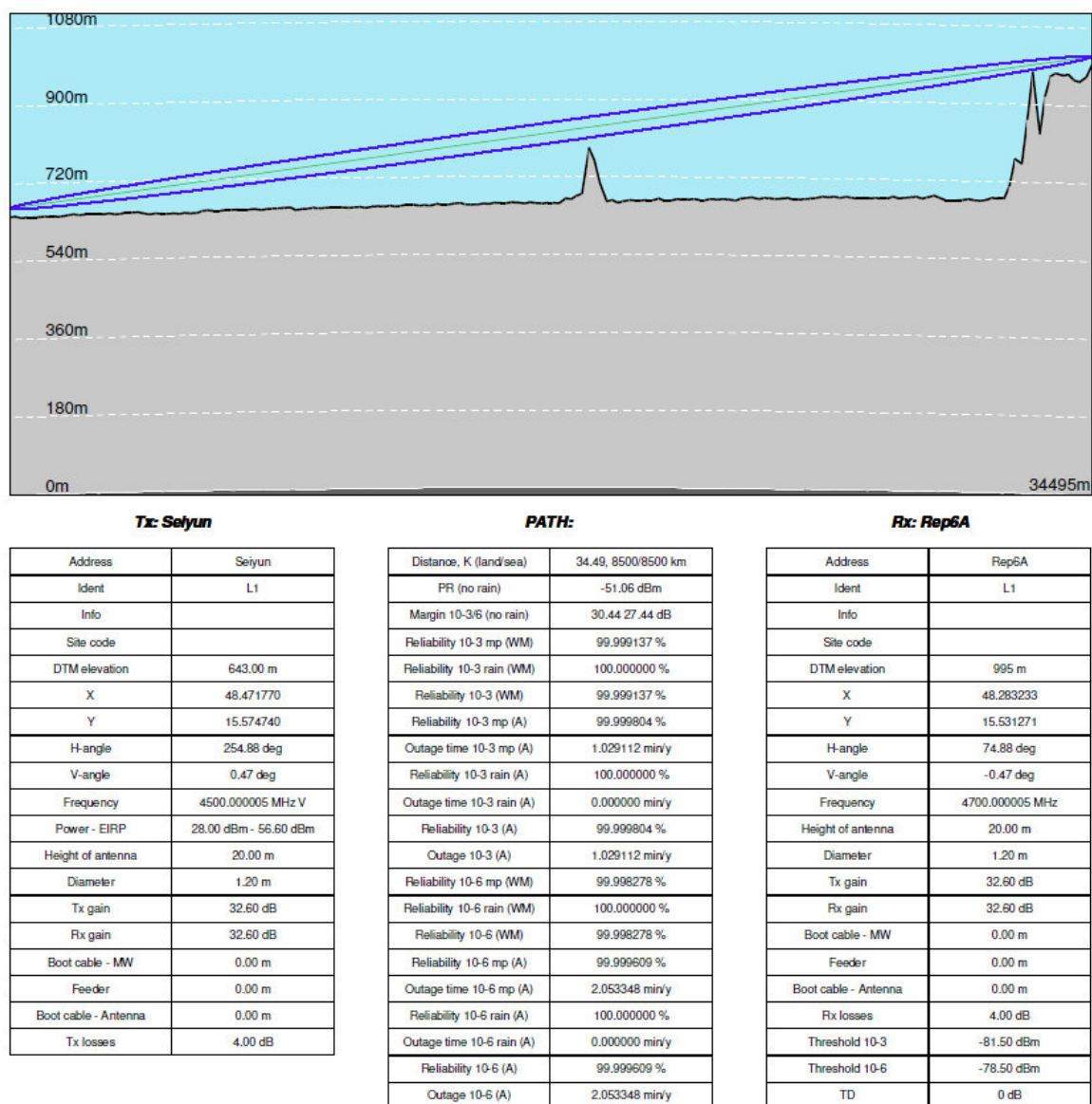


Figura 4-132: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

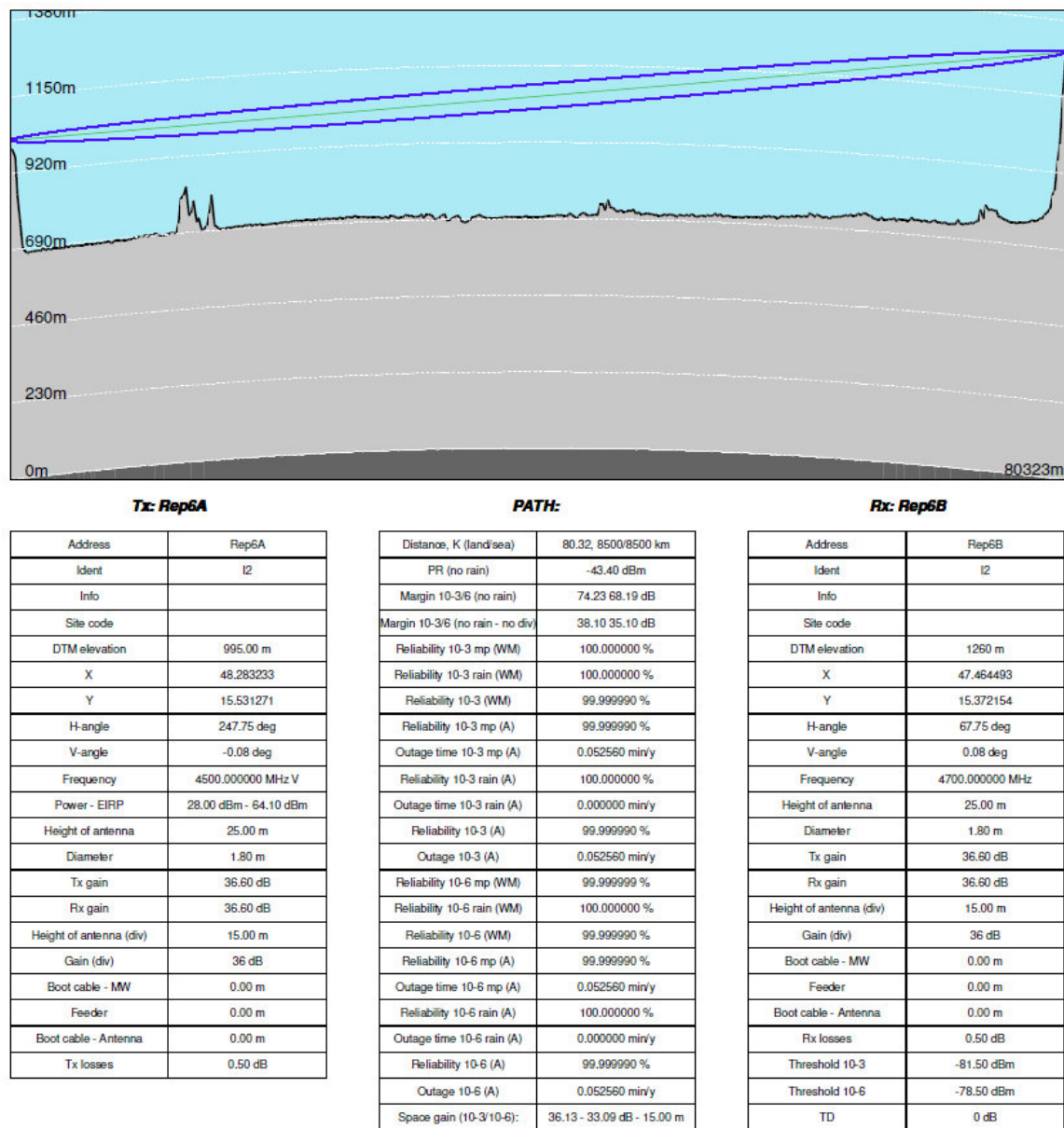
4.5.6.2. *Rep6A-Rep6B*

Figura 4-133: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

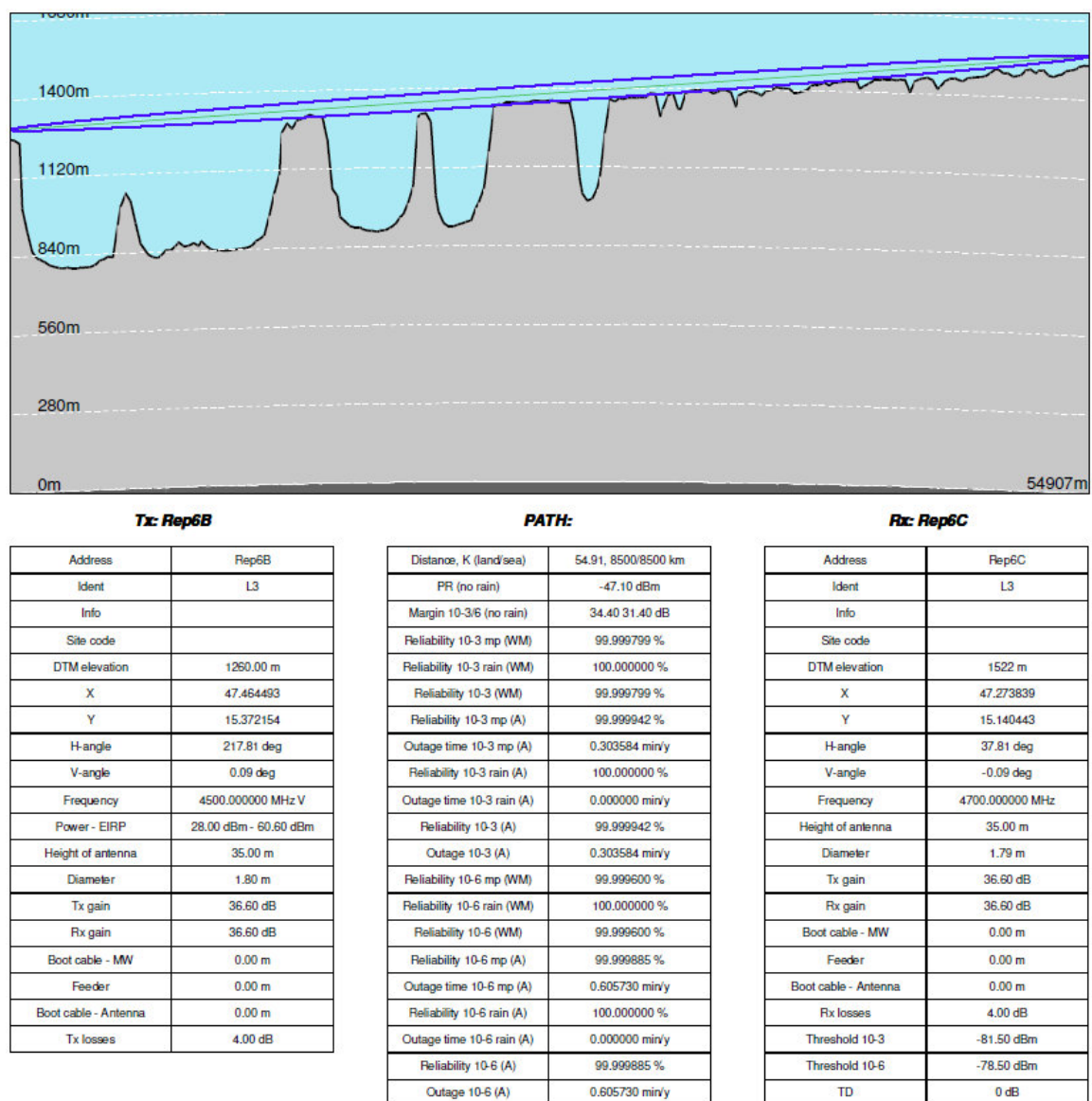
4.5.6.3. *Rep6B-Rep6C*

Figura 4-134: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)

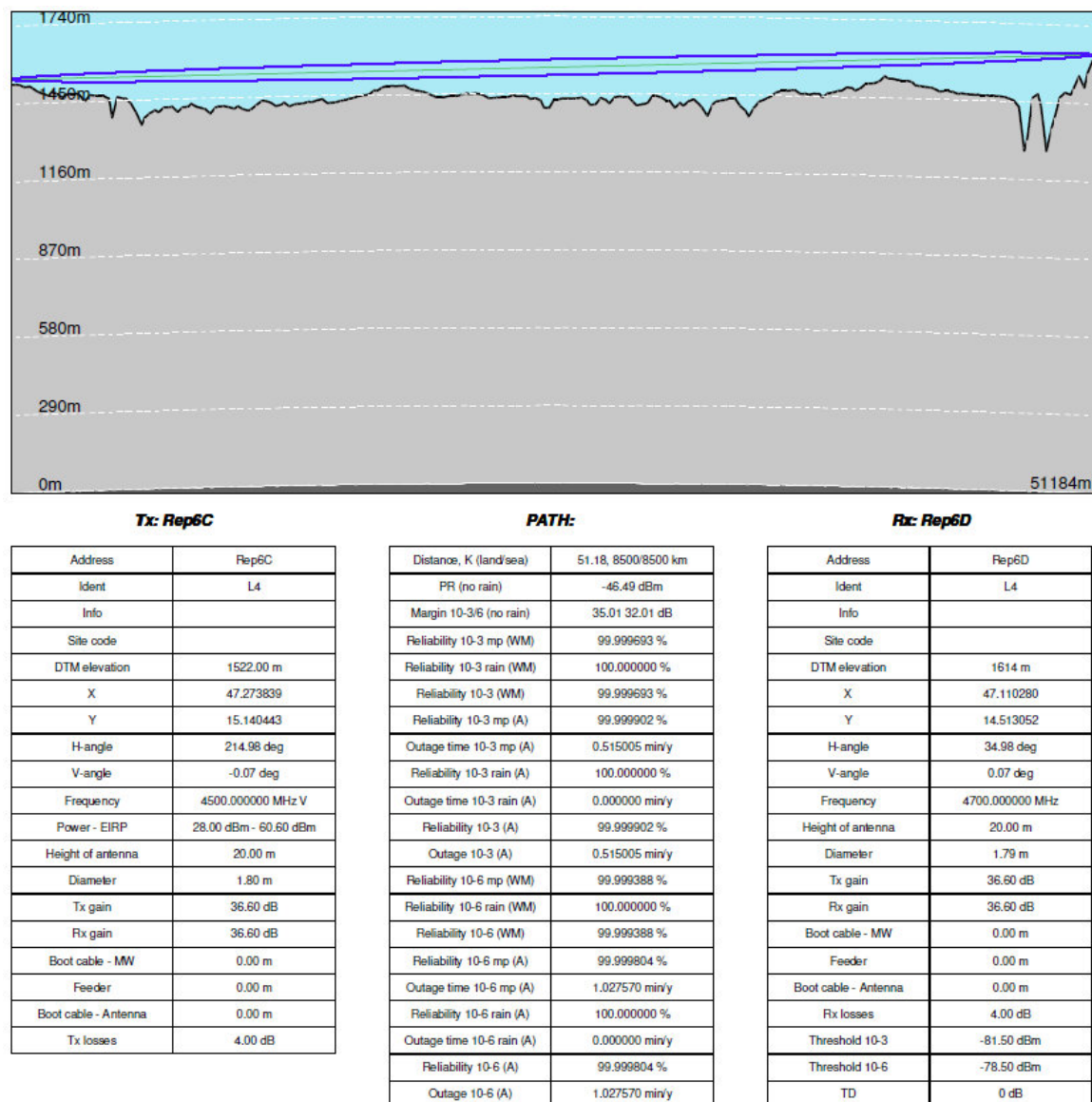
4.5.6.4. *Rep6C-Rep6D*

Figura 4-135: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)

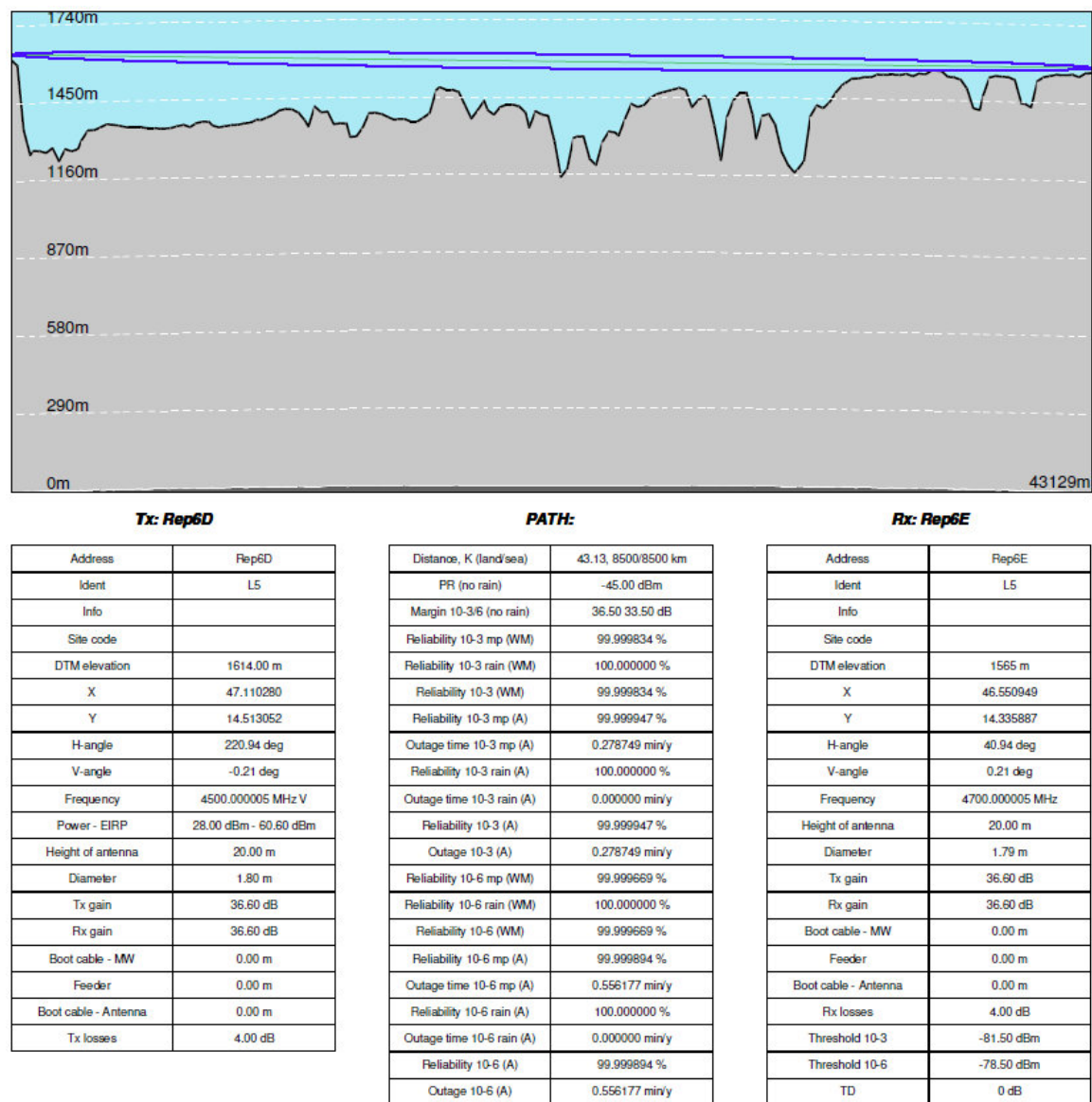
4.5.6.5. *Rep6D-Rep6E*

Figura 4-136: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)

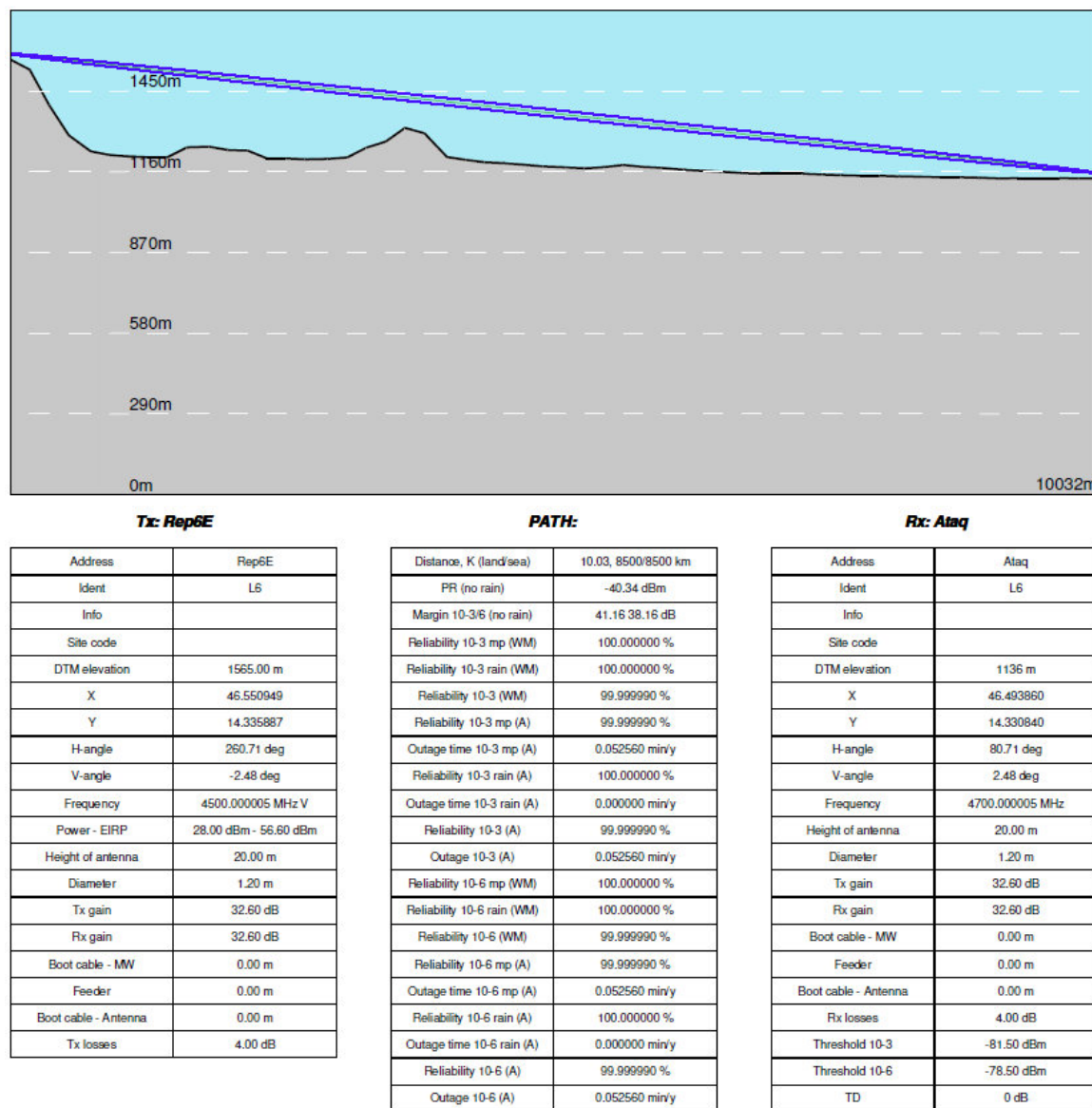
4.5.6.6. *Rep6E-Ataq*

Figura 4-137: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

4.5.6.7. *Resumen enlace Ataq-Seiyun*

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas
6	Ataq Airport	Seiyun Airport			263		
	Seiyun	Rep6A	20	20	34,49	1+1HSB	1.2
	Rep6A	Rep6B	15/25	15/25	80,32	1+1SD	1.8

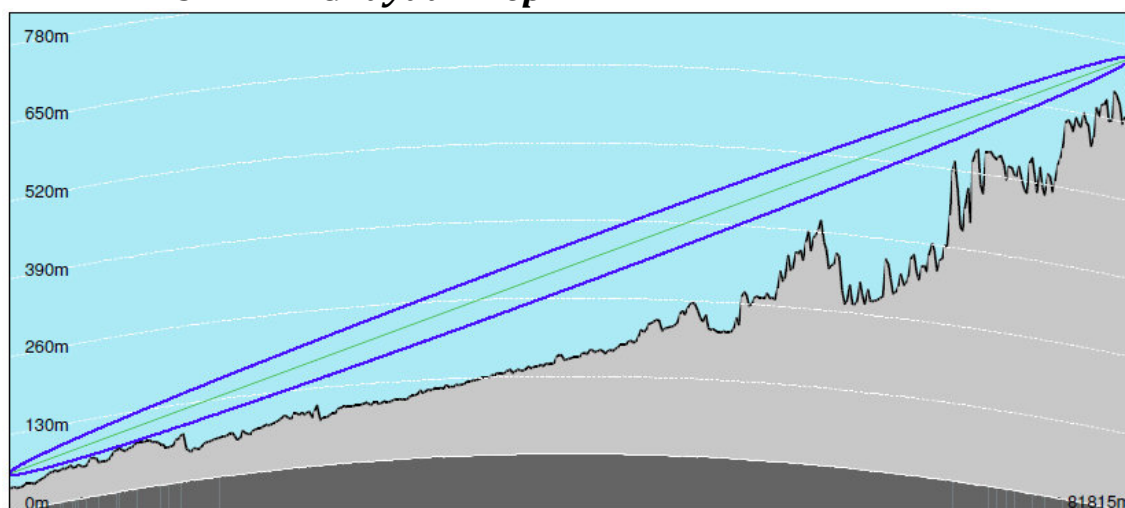
Rep6B	Rep6C	35	35	54,91	1+1HSB	1.8
Rep6C	Rep6D	20	20	51,18	1+1HSB	1.8
Rep6D	Rep6E	20	20	43,13	1+1HSB	1.8
Rep6E	Ataq	20	20	10,03	1+1HSB	1.2

Tabla 4-60: Diseño enlace Ataq-Seiyun

4.5.7. Enlace Seiyun-Al Ghaydah

Se sigue el mismo procedimiento que en los apartados anteriores y se llega al siguiente diseño:

4.5.7.1. AlGhaydah-Rep7A



Tx: Al Ghaydah

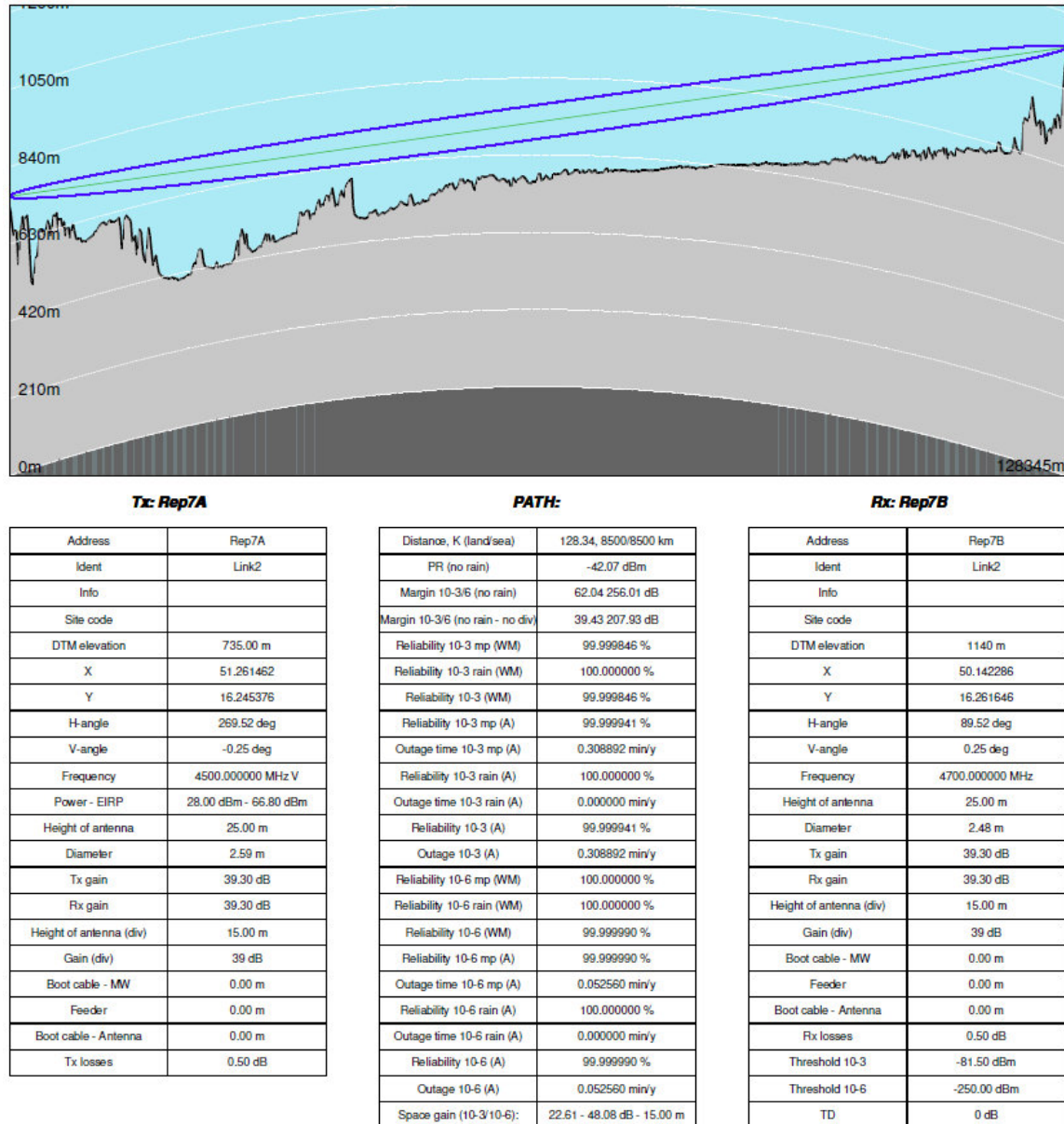
Address	Al Ghaydah
Ident	Link1
Info	
Site code	
DTM elevation	40.00 m
X	52.093940
Y	16.112330
H-angle	285.96 deg
V-angle	0.21 deg
Frequency	4500.000000 MHz V
Power - EIRP	28.00 dBm - 64.10 dBm
Height of antenna	25.00 m
Diameter	1.80 m
Tx gain	36.60 dB
Rx gain	36.60 dB
Height of antenna (div)	15.00 m
Gain (div)	36 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Tx losses	0.50 dB

PATH:

Distance, K (land/sea)	81.81, 8500/8500 km
PR (no rain)	-43.56 dBm
Margin 10-3/6 (no rain)	68.17 62.17 dB
Margin 10-3/6 (no rain - no div)	37.94 34.94 dB
Reliability 10-3 mp (WM)	99.999995 %
Reliability 10-3 rain (WM)	100.000000 %
Reliability 10-3 (WM)	99.999990 %
Reliability 10-3 mp (A)	99.999990 %
Outage time 10-3 mp (A)	0.052560 min/y
Reliability 10-3 rain (A)	100.000000 %
Outage time 10-3 rain (A)	0.000000 min/y
Reliability 10-3 (A)	99.999990 %
Outage 10-3 (A)	0.052560 min/y
Reliability 10-6 mp (WM)	99.999982 %
Reliability 10-6 rain (WM)	100.000000 %
Reliability 10-6 (WM)	99.999982 %
Reliability 10-6 mp (A)	99.999990 %
Outage time 10-6 mp (A)	0.052560 min/y
Reliability 10-6 rain (A)	100.000000 %
Outage time 10-6 rain (A)	0.000000 min/y
Reliability 10-6 (A)	99.999990 %
Outage 10-6 (A)	0.052560 min/y
Space gain (10-3/10-6):	30.23 - 27.23 dB - 15.00 m

Rx: Rep7A

Address	Rep7A
Ident	Link1
Info	
Site code	
DTM elevation	735 m
X	51.261462
Y	16.245376
H-angle	105.96 deg
V-angle	-0.21 deg
Frequency	4700.000000 MHz
Height of antenna	25.00 m
Diameter	1.80 m
Tx gain	36.60 dB
Rx gain	36.60 dB
Height of antenna (div)	15.00 m
Gain (div)	36 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Rx losses	0.50 dB
Threshold 10-3	-81.50 dBm
Threshold 10-6	-78.50 dBm
TD	0 dB

Figura 4-138: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)**4.5.7.2. Rep7A-Rep7B****Figura 4-139: Simulación enlace con ganancia de antena de 2,4 m (1+1 SD)**

4.5.7.3. Rep7B-Rep7C

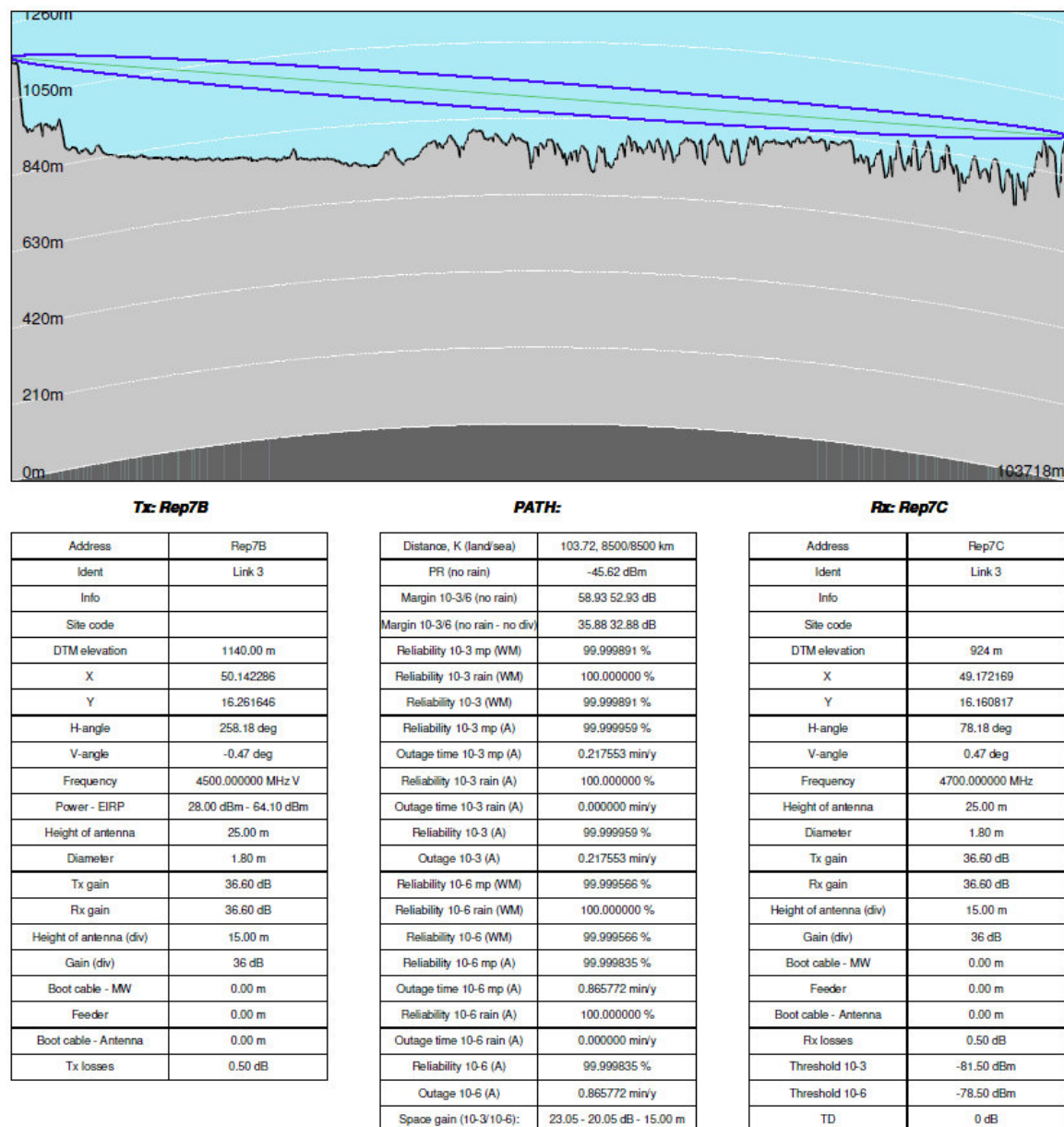
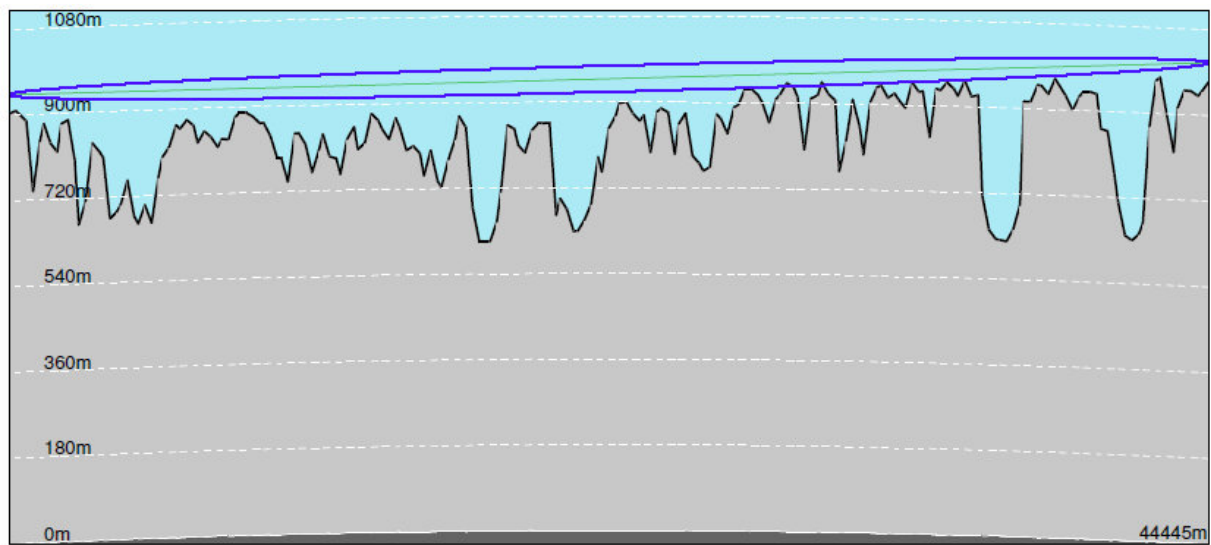


Figura 4-140: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

4.5.7.4. *Rep7C-Rep7D***Tx: Rep7C**

Address	Rep7C
Ident	Enlace 25
Info	
Site code	
DTM elevation	904.00 m
X	49.172170
Y	16.160820
H-angle	234.89 deg
V-angle	-0.06 deg
Frequency	4418.000000 MHz V
Power - EIRP	28.00 dBm - 60.60 dBm
Height of antenna	40.00 m
Diameter	1.80 m
Tx gain	36.60 dB
Rx gain	36.60 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Tx losses	4.00 dB

PATH:

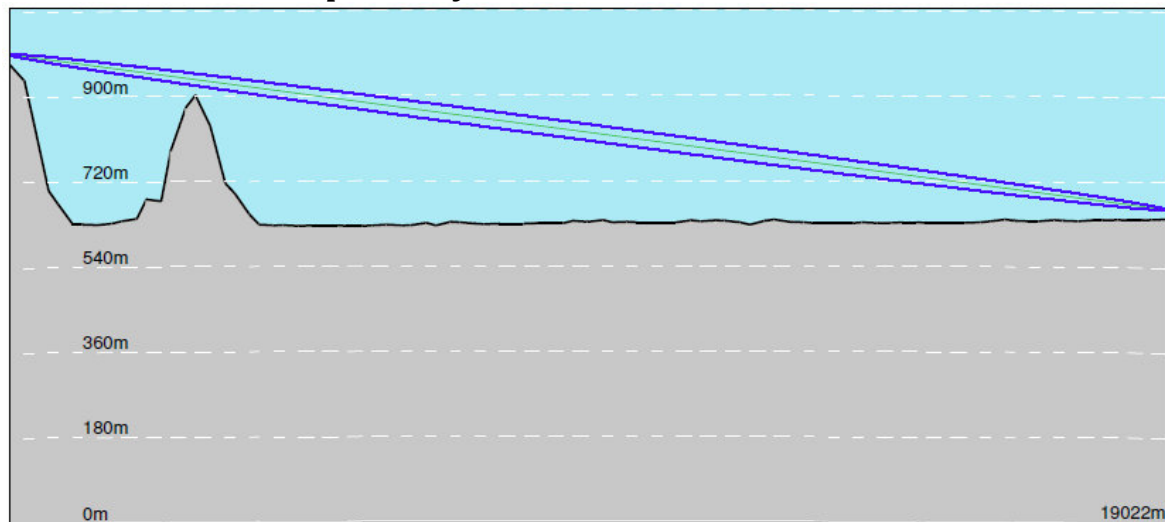
Distance, K (land/sea)	44.45, 8500/8500 km
PR (no rain)	-45.10 dBm
Margin 10-3/6 (no rain)	36.40 33.40 dB
Reliability 10-3 mp (WM)	99.998166 %
Reliability 10-3 rain (WM)	99.999987 %
Reliability 10-3 (WM)	99.998152 %
Reliability 10-3 mp (A)	99.999424 %
Outage time 10-3 mp (A)	3.025776 min/y
Reliability 10-3 rain (A)	99.999999 %
Outage time 10-3 rain (A)	0.003916 min/y
Reliability 10-3 (A)	99.999424 %
Outage 10-3 (A)	3.029692 min/y
Reliability 10-6 mp (WM)	99.996340 %
Reliability 10-6 rain (WM)	99.999987 %
Reliability 10-6 (WM)	99.996327 %
Reliability 10-6 mp (A)	99.998851 %
Outage time 10-6 mp (A)	6.037216 min/y
Reliability 10-6 rain (A)	99.999999 %
Outage time 10-6 rain (A)	0.003916 min/y
Reliability 10-6 (A)	99.998851 %
Outage 10-6 (A)	6.041132 min/y

Rx: Rep7D

Address	Rep7D
Ident	Enlace 25
Info	
Site code	
DTM elevation	971 m
X	48.564224
Y	16.024396
H-angle	54.89 deg
V-angle	0.06 deg
Frequency	4730.000000 MHz
Height of antenna	40.00 m
Diameter	1.78 m
Tx gain	36.60 dB
Rx gain	36.60 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Rx losses	4.00 dB
Threshold 10-3	-81.50 dBm
Threshold 10-6	-78.50 dBm
TD	0 dB

Figura 4-141: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)

4.5.7.5. Rep7D-Seiyun



Tx: Rep7D

Address	Rep7D
Ident	Enlace 24
Info	
Site code	
DTM elevation	971.00 m
X	48.564224
Y	16.024396
H-angle	240.52 deg
V-angle	-1.05 deg
Frequency	4730.000000 MHz H
Power - EIRP	28.00 dBm - 56.60 dBm
Height of antenna	20.00 m
Diameter	1.17 m
Tx gain	32.60 dB
Rx gain	32.60 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Tx losses	4.00 dB

PATH:

Distance, K (land/sea)	19.02, 8500/8500 km
PR (no rain)	-46.33 dBm
Margin 10-3/6 (no rain)	35.17 32.17 dB
Reliability 10-3 mp (WM)	99.999975 %
Reliability 10-3 rain (WM)	99.999987 %
Reliability 10-3 (WM)	99.999961 %
Reliability 10-3 mp (A)	99.999990 %
Outage time 10-3 mp (A)	0.052560 min/y
Reliability 10-3 rain (A)	99.999999 %
Outage time 10-3 rain (A)	0.003916 min/y
Reliability 10-3 (A)	99.999989 %
Outage 10-3 (A)	0.056476 min/y
Reliability 10-6 mp (WM)	99.999949 %
Reliability 10-6 rain (WM)	99.999987 %
Reliability 10-6 (WM)	99.999936 %
Reliability 10-6 mp (A)	99.999990 %
Outage time 10-6 mp (A)	0.052560 min/y
Reliability 10-6 rain (A)	99.999999 %
Outage time 10-6 rain (A)	0.003916 min/y
Reliability 10-6 (A)	99.999989 %
Outage 10-6 (A)	0.056476 min/y

Rx: Seiyun

Address	Seiyun
Ident	Enlace 24
Info	
Site code	
DTM elevation	643 m
X	48.471770
Y	15.574740
H-angle	60.52 deg
V-angle	1.05 deg
Frequency	4418.000000 MHz
Height of antenna	20.00 m
Diameter	1.17 m
Tx gain	32.60 dB
Rx gain	32.60 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Rx losses	4.00 dB
Threshold 10-3	-81.50 dBm
Threshold 10-6	-78.50 dBm
TD	0 dB

Figura 4-142: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

4.5.7.6. Resumen enlace Seiyun-Al Ghaydah

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas
7	Seiyun Airport	Al Ghaydah Airport			364		
	Al Ghaydah Airport	Rep7A	15/25	15/25	81,81	1+1SD	1.8
	Rep7A	Rep7B	15/25	15/25	128,34	1+1SD	2.4
	Rep7B	Rep7C	15/25	15/25	103,72	1+1SD	1.8
	Rep7C	Rep7D	40	40	44,45	1+1HSB	1.8
	Rep7D	Seiyun Airport	20	20	19,02	1+1HSB	1.2

Tabla 4-61: Diseño enlace Seiyun-Al Ghaydah

4.5.8. Enlace Al Ghaydah-Ryan Mukalla

Se sigue el mismo procedimiento que en los apartados anteriores y se llega al siguiente diseño:

4.5.8.1. AlGhaydah-Rep8A

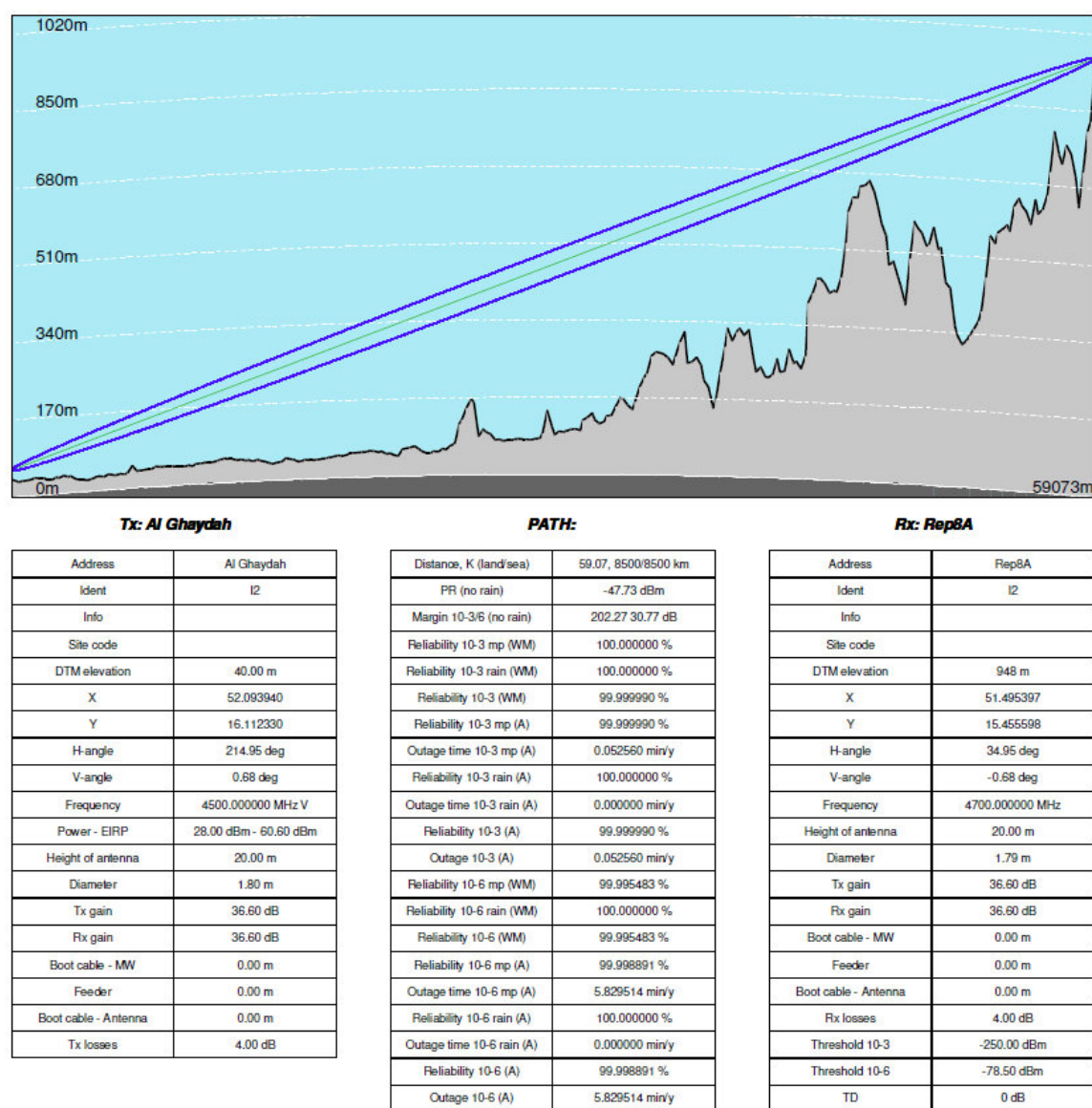


Figura 4-143: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)

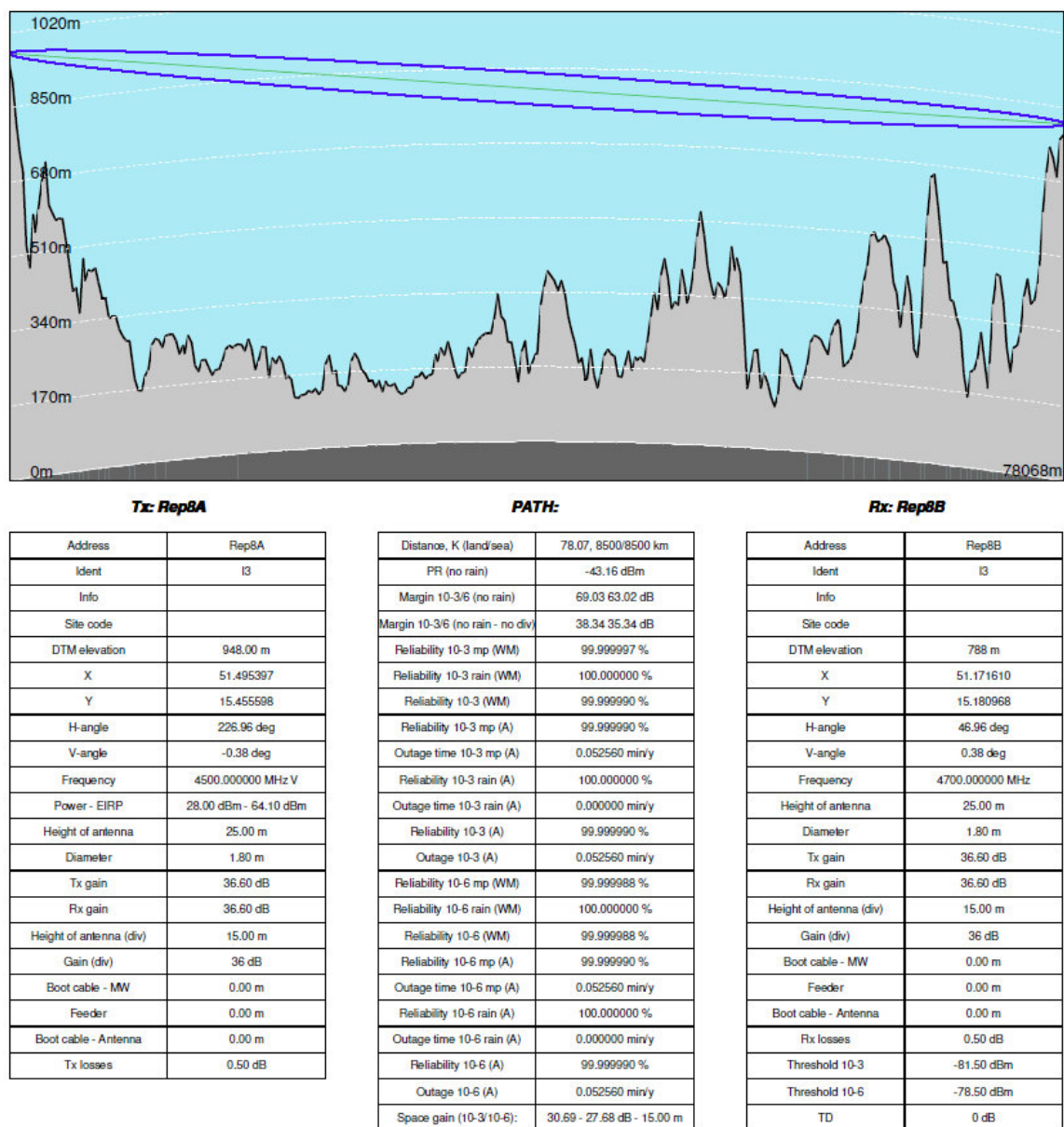
4.5.8.2. *Rep8A-Rep8B*

Figura 4-144: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

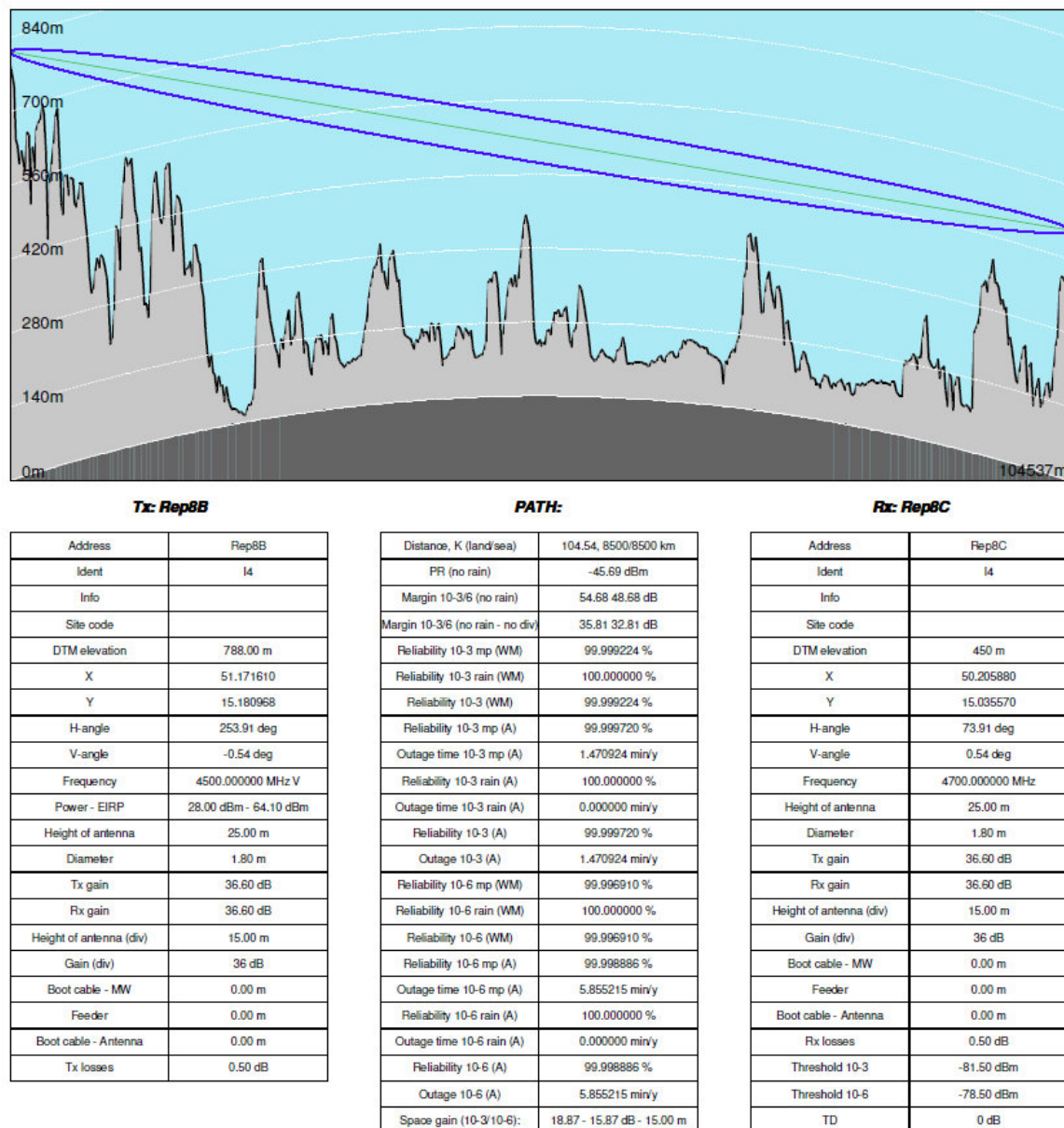
4.5.8.3. *Rep8B-Rep8C*

Figura 4-145: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

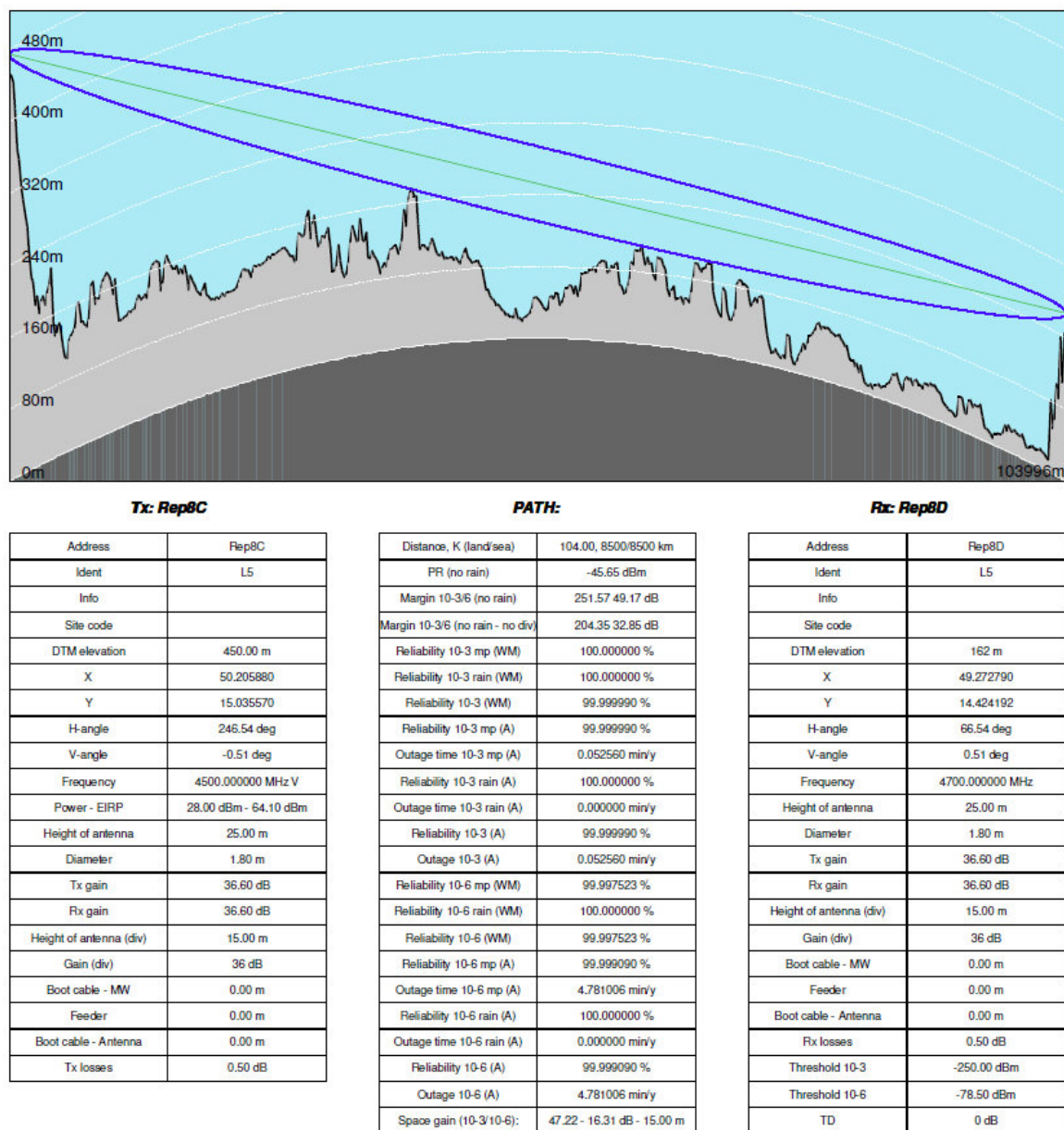
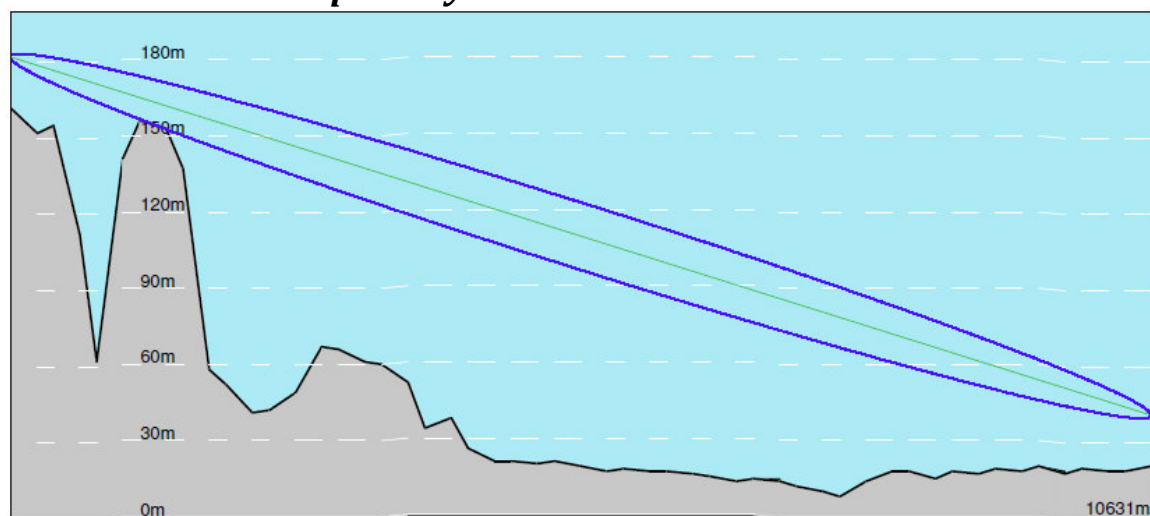
4.5.8.4. *Rep8C-Rep8D*

Figura 4-146: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

4.5.8.5. *Rep8D-Riyan Mukalla*

Tx: Rep8D		PATH:		Rx: Riyan Mukalla	
Address	Rep8D	Distance, K (land/sea)	10.63, 8500/8500 km	Address	Riyan Mukalla
Ident	I	PR (no rain)	-40.84 dBm	Ident	I
Info		Margin 10-3/6 (no rain)	209.16 37.66 dB	Info	
Site code		Reliability 10-3 mp (WM)	100.000000 %	Site code	
DTM elevation	162.00 m	Reliability 10-3 rain (WM)	100.000000 %	DTM elevation	21 m
X	49.272790	Reliability 10-3 (WM)	99.999990 %	X	49.221539
Y	14.424192	Reliability 10-3 mp (A)	99.999990 %	Y	14.400666
H-angle	241.70 deg	Outage time 10-3 mp (A)	0.052560 min/y	H-angle	61.70 deg
V-angle	-0.80 deg	Reliability 10-3 rain (A)	100.000000 %	V-angle	0.80 deg
Frequency	4500.000000 MHz V	Outage time 10-3 rain (A)	0.000000 min/y	Frequency	4700.000000 MHz
Power - EIRP	28.00 dBm - 56.60 dBm	Reliability 10-3 (A)	99.999990 %	Height of antenna	20.00 m
Height of antenna	20.00 m	Outage 10-3 (A)	0.052560 min/y	Diameter	1.20 m
Diameter	1.20 m	Reliability 10-6 mp (WM)	99.999993 %	Tx gain	32.60 dB
Tx gain	32.60 dB	Reliability 10-6 rain (WM)	100.000000 %	Rx gain	32.60 dB
Rx gain	32.60 dB	Reliability 10-6 (WM)	99.999990 %	Boot cable - MW	0.00 m
Boot cable - MW	0.00 m	Reliability 10-6 mp (A)	99.999990 %	Feeder	0.00 m
Feeder	0.00 m	Outage time 10-6 mp (A)	0.052560 min/y	Boot cable - Antenna	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m	Reliability 10-6 rain (A)	100.000000 %	Rx losses	4.00 dB
Tx losses	4.00 dB	Outage time 10-6 rain (A)	0.000000 min/y	Threshold 10-3	-250.00 dBm
		Reliability 10-6 (A)	99.999990 %	Threshold 10-6	-78.50 dBm
		Outage 10-6 (A)	0.052560 min/y	TD	0 dB

Figura 4-147: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

4.5.8.6. *Resumen enlace Al Ghaydah-Riyan Mukalla*

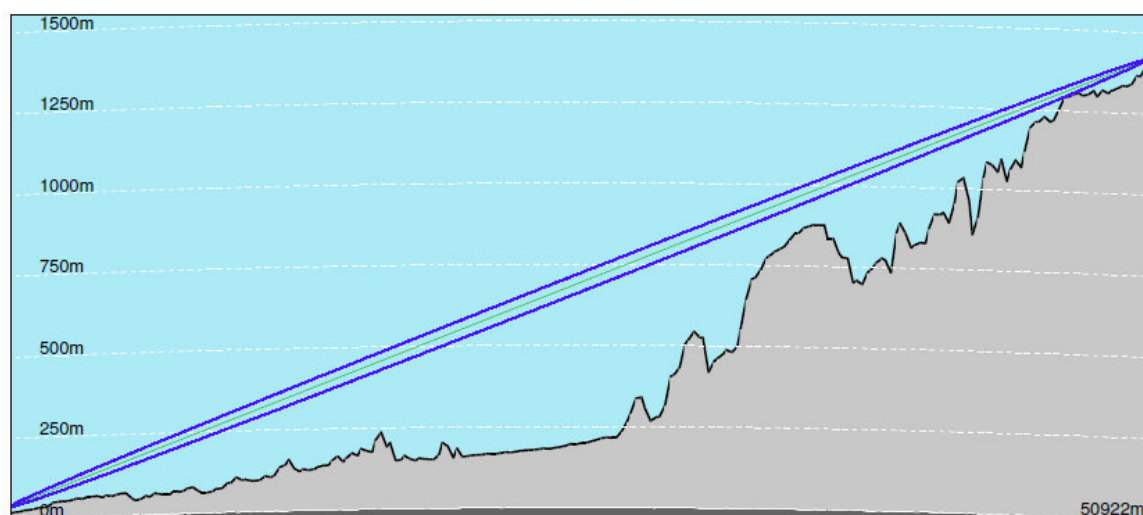
Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas
8	Al Ghaydah Airport	Ryan Mukalla Airport			346		
	Al Ghaydah	Rep8A	20	20	59,07	1+1HSB	1.8
	Rep8A	Rep8B	15/25	15/25	78,07	1+1SD	1.8
	Rep8B	Rep8C	15/25	15/25	104,54	1+1SD	1.8
	Rep8C	Rep8D	15/25	15/25	104,4	1+1SD	1.8
	Rep8D	Riyan Mukalla	20	20	10,63	1+1HSB	1.2

Tabla 4-62: Diseño enlace Al Ghaydah-Riyan Mukalla

4.5.9. Ryan Mukalla-Seiyun

Se sigue el mismo procedimiento que en los apartados anteriores y se llega al siguiente diseño:

4.5.9.1. Riyan Mukalla-Rep9



Tx: Riyan Mukalla

Address	Riyan Mukalla
Ident	L1
Info	
Site code	
DTM elevation	21.00 m
X	49.221540
Y	14.400670
H-angle	303.47 deg
V-angle	1.38 deg
Frequency	4500.000000 MHz V
Power - EIRP	28.00 dBm - 60.60 dBm
Height of antenna	20.00 m
Diameter	1.80 m
Tx gain	36.60 dB
Rx gain	36.60 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Tx losses	4.00 dB

PATH:

Distance, K (land/sea)	50.92, 8500/8500 km
PR (no rain)	-46.45 dBm
Margin 10-3/6 (no rain)	35.05 32.05 dB
Reliability 10-3 mp (WM)	99.999292 %
Reliability 10-3 rain (WM)	100.000000 %
Reliability 10-3 (WM)	99.999292 %
Reliability 10-3 mp (A)	99.999847 %
Outage time 10-3 mp (A)	0.801845 min/y
Reliability 10-3 rain (A)	100.000000 %
Outage time 10-3 rain (A)	0.000000 min/y
Reliability 10-3 (A)	99.999847 %
Outage time 10-3 (A)	0.801845 min/y
Reliability 10-6 mp (WM)	99.998586 %
Reliability 10-6 rain (WM)	100.000000 %
Reliability 10-6 (WM)	99.998586 %
Reliability 10-6 mp (A)	99.999696 %
Outage time 10-6 mp (A)	1.599891 min/y
Reliability 10-6 rain (A)	100.000000 %
Outage time 10-6 rain (A)	0.000000 min/y
Reliability 10-6 (A)	99.999696 %
Outage time 10-6 (A)	1.599891 min/y

Rx: Rep9A

Address	Rep9A
Ident	L1
Info	
Site code	
DTM elevation	1397 m
X	48.585448
Y	14.554467
H-angle	123.47 deg
V-angle	-1.38 deg
Frequency	4700.000000 MHz
Height of antenna	20.00 m
Diameter	1.79 m
Tx gain	36.60 dB
Rx gain	36.60 dB
Boot cable - MW	0.00 m
Feeder	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m
Rx losses	4.00 dB
Threshold 10-3	-81.50 dBm
Threshold 10-6	-78.50 dBm
TD	0 dB

Figura 4-148: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 HSB)

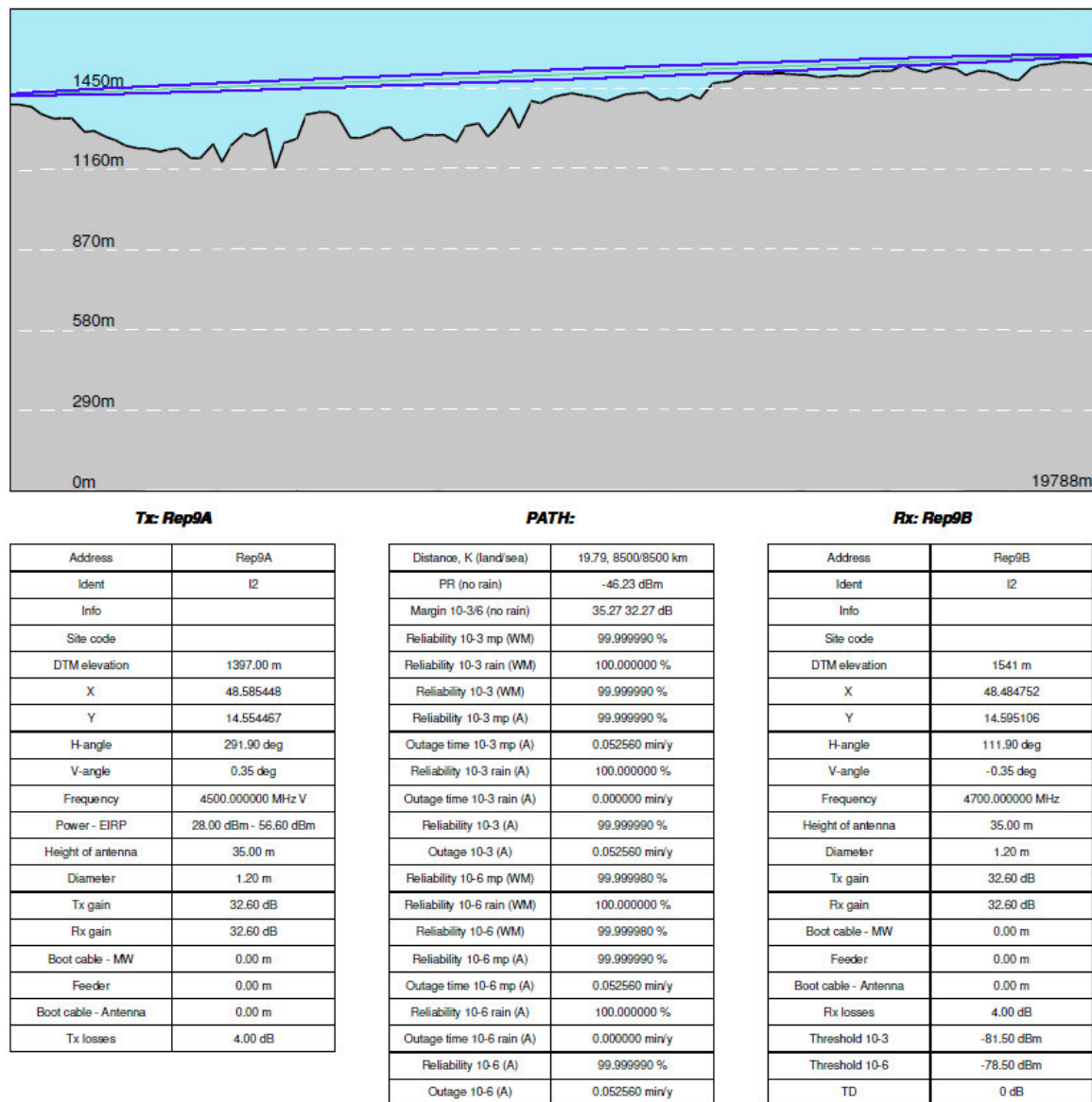
4.5.9.2. *Rep9A-Rep9B*

Figura 4-149: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

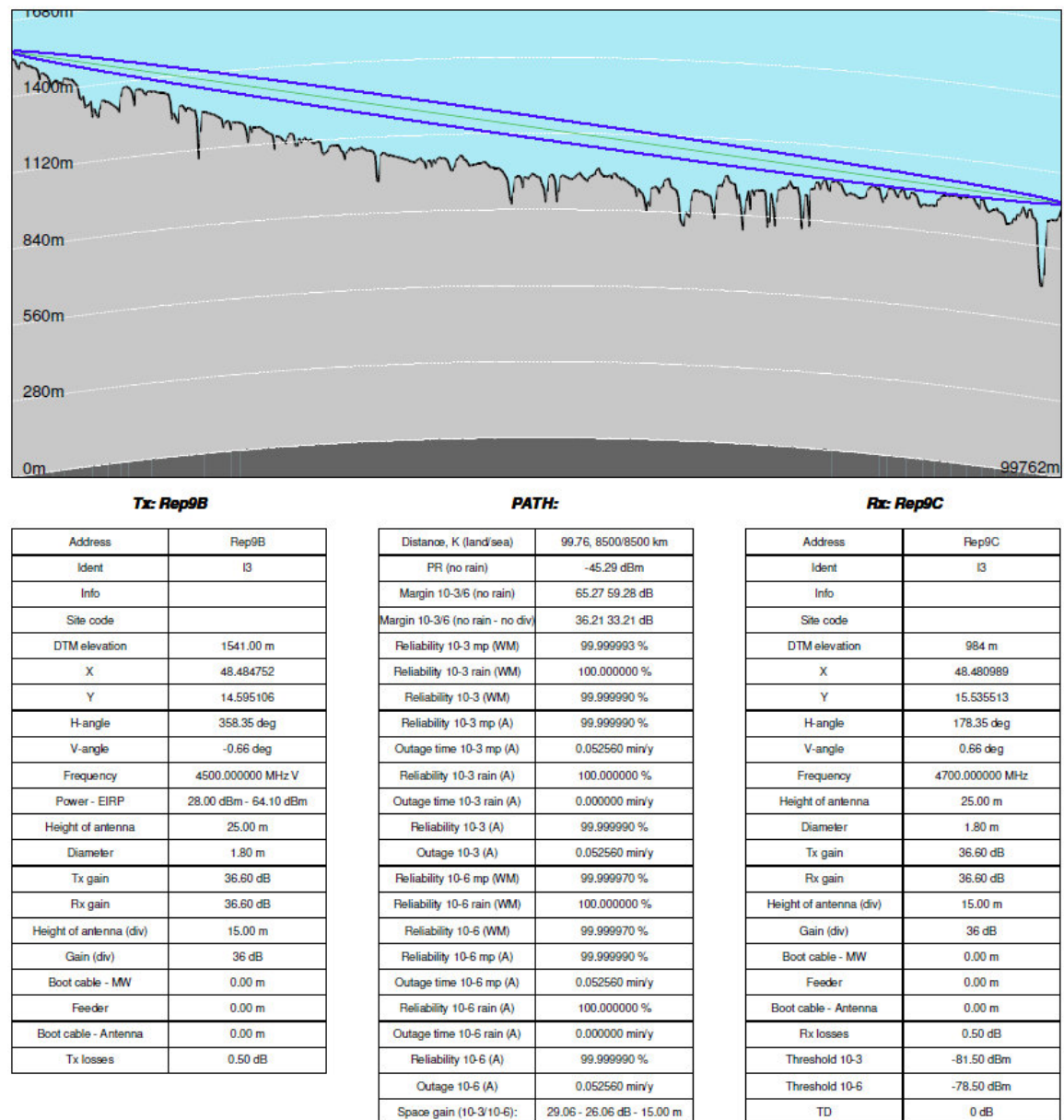
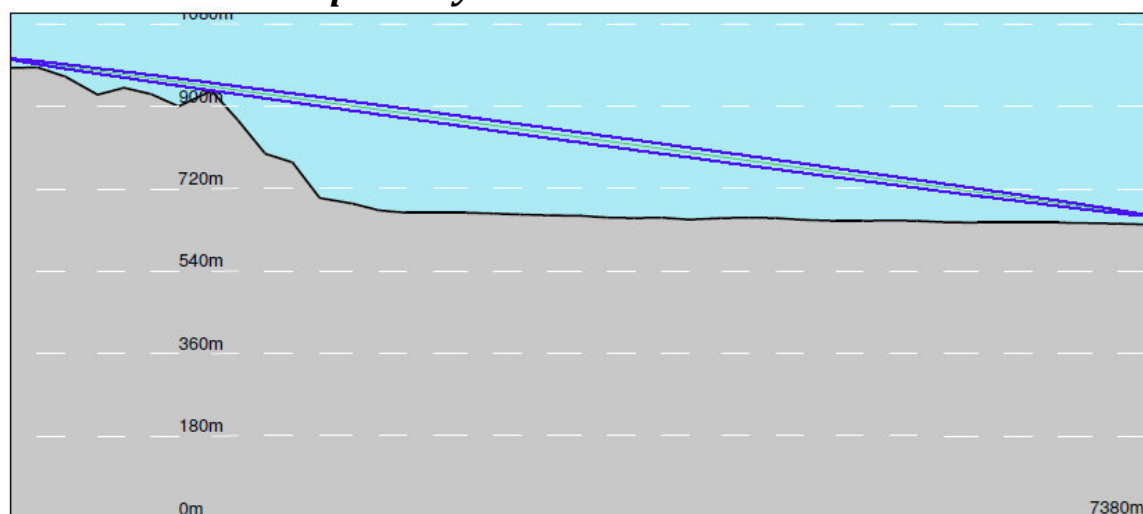
4.5.9.3. *Rep9B-Rep9C*

Figura 4-150: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,8 m (1+1 SD)

4.5.9.4. *REp9C-Seiyun*

Tx: Rep9C		PATH:		Rx: Seiyun	
Address	Rep9C	Distance, K (land/sea)	7.38, 8500/8500 km	Address	Seiyun
Ident	L4	PR (no rain)	-37.68 dBm	Ident	L4
Info		Margin 10-3/6 (no rain)	43.82 212.32 dB	Info	
Site code		Reliability 10-3 mp (WM)	100.000000 %	Site code	
DTM elevation	984.00 m	Reliability 10-3 rain (WM)	100.000000 %	DTM elevation	642 m
X	48.480989	Reliability 10-3 (WM)	99.999990 %	X	48.471770
Y	15.535513	Reliability 10-3 mp (A)	99.999990 %	Y	15.574740
H-angle	347.32 deg	Outage time 10-3 mp (A)	0.052560 min/y	H-angle	167.32 deg
V-angle	-2.68 deg	Reliability 10-3 rain (A)	100.000000 %	V-angle	2.68 deg
Frequency	4500.000000 MHz V	Outage time 10-3 rain (A)	0.000000 min/y	Frequency	4700.000000 MHz
Power - EIRP	28.00 dBm - 56.60 dBm	Reliability 10-3 (A)	99.999990 %	Height of antenna	20.00 m
Height of antenna	20.00 m	Outage 10-3 (A)	0.052560 min/y	Diameter	1.20 m
Diameter	1.20 m	Reliability 10-6 mp (WM)	100.000000 %	Tx gain	32.60 dB
Tx gain	32.60 dB	Reliability 10-6 rain (WM)	100.000000 %	Rx gain	32.60 dB
Rx gain	32.60 dB	Reliability 10-6 (WM)	99.999990 %	Boot cable - MW	0.00 m
Boot cable - MW	0.00 m	Reliability 10-6 mp (A)	99.999990 %	Feeder	0.00 m
Feeder	0.00 m	Outage time 10-6 mp (A)	0.052560 min/y	Boot cable - Antenna	0.00 m
Boot cable - Antenna	0.00 m	Reliability 10-6 rain (A)	100.000000 %	Rx losses	4.00 dB
Tx losses	4.00 dB	Outage time 10-6 rain (A)	0.000000 min/y	Threshold 10-3	-81.50 dBm
		Reliability 10-6 (A)	99.999990 %	Threshold 10-6	-250.00 dBm
		Outage 10-6 (A)	0.052560 min/y	TD	0 dB

Figura 4-151: Simulación enlace con ganancia de antena de 1,2 m (1+1 HSB)

4.5.9.5. *Resumen enlace Riyan Mukalla-Seiyun*

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas
9	Riyan Mukalla Airport	Seiyun Airport			157		
	Riyan Mukalla	Rep9A	20	20	50,92	1+1 HSB	1.8
	Rep9A	Rep9B	35	35	19,79	1+1 HSB	1.2
	Rep9B	Rep9C	15/25	15/25	99,76	1+1 SD	1.8
	Rep9C	Seiyun Airport	20	20	7,38	1+1 HSB	1.2

Tabla 4-63: Diseño enlace Riyan Mukalla-Seiyun

4.6. Posible bloqueo en Ataq

Se ha podido ver que Ataq al ser un punto intermedio tiene 2 enlaces que atraviesan la pista de aviones. Es decir, los enlaces hacia Rep4A y Rep5B pasan a través de la pista lo que puede provocar cortes en el servicio.

En el resto de aeropuertos se ha comprobado que no existe este problema.

Se va a estudiar esta situación y los posibles problemas que puede ocasionar y la solución a adoptar.



Figura 4-152: Enlaces en Ataq

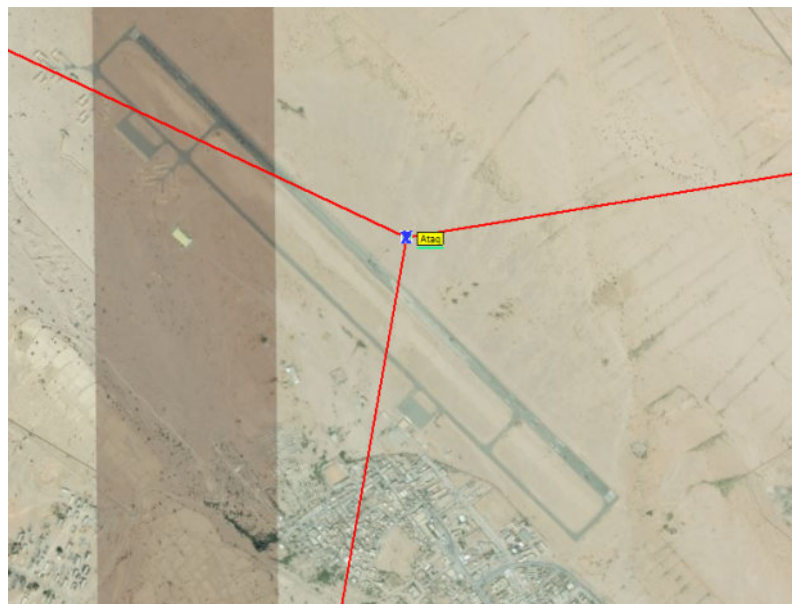


Figura 4-153: Enlaces que atraviesan la pista en Ataq

4.6.1. Enlace Ataq-Rep4A

Para ver los posibles problemas que puede ocasionar que el enlace Ataq al conectar con Rep4A atraviese la pista del aeropuerto, se hace un estudio de la 1ª Zona de Fresnel y se sigue la recomendación de que el 60% de la 1ª Zona de Fresnel tiene que garantizarse que esté despejada de cualquier obstáculo para que la energía que se transmite llegue al receptor con unas calidades óptimas.

Se tienen los siguientes datos:

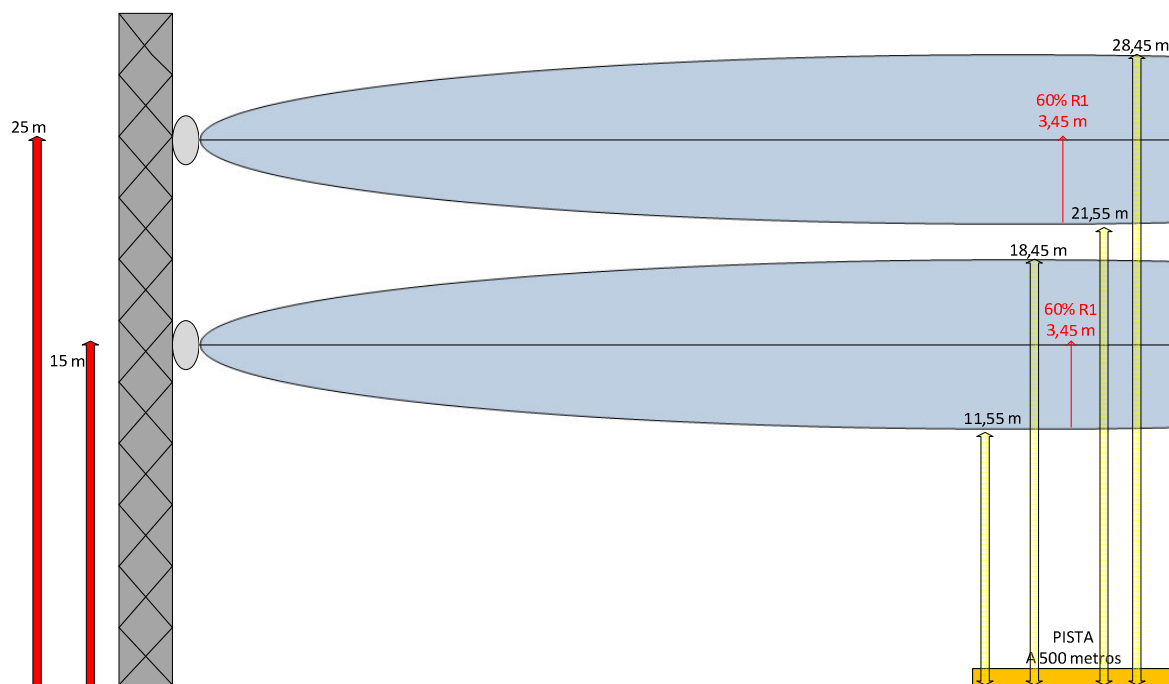
- Frecuencia=4500 MHz.
- Ángulo de elevación=0,08° (aproximadamente 0°, sobre el horizonte).
- Longitud del enlace=72 km.
- Configuración del enlace=1+1 SD, antenas de 1,8 m de diámetro a 15 y 25 metros de altura.
- Distancia de la torre a la pista= 500 m.

Aplicando la fórmula para obtener el radio de la 1ª Zona de Fresnel, se obtiene:

- Radio de la 1ª Zona de Fresnel=5,75 m.
- Despejamiento del 60% de la 1ª Zona de Fresnel = radio de 3,45 metros.

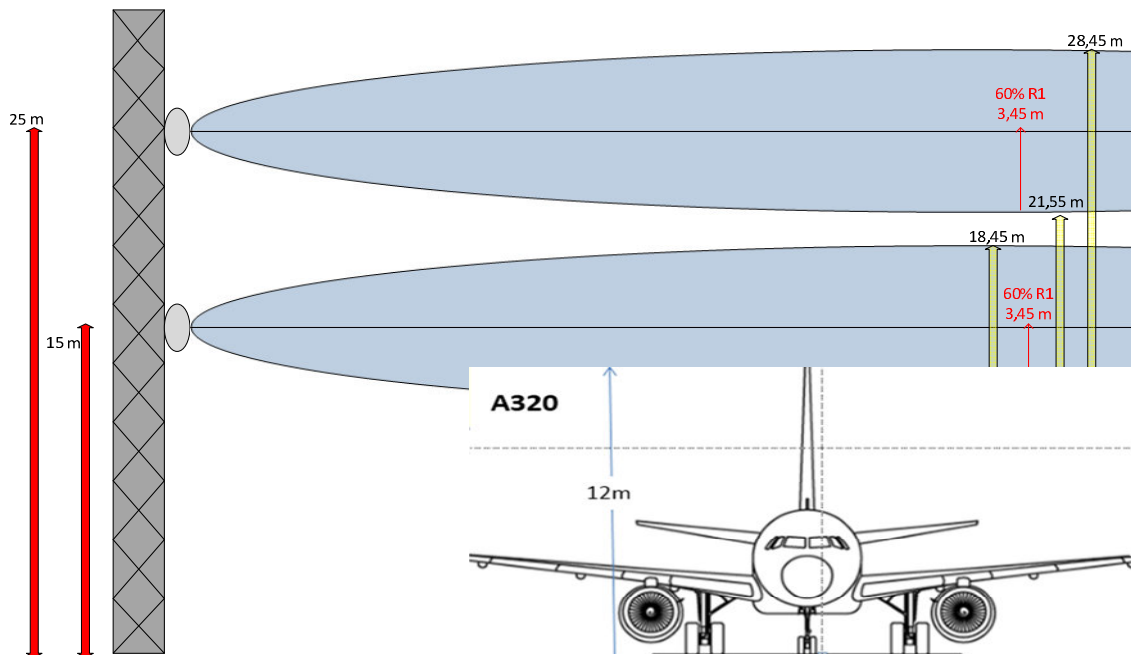
Si Ataq está en transmisión con la antena 1 a 25 metros de altura, por trigonometría se obtiene que la altura del enlace cuando atraviesa la pista es de 25 m, por lo que la zona de obstrucción estará entre 21,55 metros y 28,45 metros justo donde está la pista. Siendo la zona de obstrucción justo donde el enlace atraviesa la pista de 7 metros de diámetro.

Si es la Antena 2 a 15 metros de altura la que está transmitiendo, la altura del enlace cuando atraviesa la pista es de 15 m y la zona de obstrucción estará entre 11,55 metros y 18,45 metros justo donde está la pista, siendo el diámetro también de 7 metros.

Enlace Ataq-Rep4A**Figura 4-154: Zona de obstrucción enlace Ataq-Rep4A**

Si Ataq está en recepción, al ser un enlace con diversidad espacial implicaría que el enlace quedaría obstruido sólo si se bloquean las dos zonas a la vez. Estaríamos hablando de algún obstáculo que tuviera un diámetro de aproximadamente 16 metros y que atravesara a ese nivel la pista entre los 10 y los 30 metros de altura.

Aunque, si se bloquea la zona de 21,55 metros a 28,45 metros seguiría recibiendo por la antena a 15 metros de altura aunque no con la misma calidad ya que perdería la diversidad espacial y si se bloquea la zona de 11,55 metros a 18,45 metros seguiría recibiendo por la antena a 25 metros de altura y claro está con calidad reducida en el enlace.

Enlace Ataq-Rep4A**Figura 4-155: Parada del Airbus A320**

El Airbus A380 mide de alto aproximadamente 25 metros, podría provocar el bloqueo total del enlace si se queda parado justo en esa zona. Otros aviones como por ejemplo el A320 sólo llegan a 12 metros de altura.

En resumen, el bloqueo del enlace se podría dar por aviones que aterrizan o despegan justo pasando por esa zona, aunque en este caso sería un bloqueo en el enlace prácticamente despreciable. El problema estaría si hay aviones de 25 a 30 metros de altura que se quedan parados justo en esa zona lo que provocaría un bloque total del enlace.

Hay pocos aviones de dimensiones tan grandes, pero se recomienda que la transmisión se haga en la medida de lo posible siempre con la antena que está a mayor altura y que en cualquier caso se evite que los aviones se queden parados justo en esa zona.

4.6.2. Enlace Ataq-Rep5B

Se tienen los siguientes datos:

- Frecuencia=4500 MHz.
- Ángulo de elevación=1,74°
- Longitud del enlace= 36 km.

- Configuración del enlace = 1+1 HSB, antenas de 1,2 m de diámetro a 20 metros de altura.
- Distancia a la pista= 200 m.

Aplicando la fórmula para obtener el radio de la 1ª Zona de Fresnel, se obtiene:

- Radio de la primera zona de Fresnel=3,64 m.
- Despejamiento del 60% de la 1ª Zona de Fresnel = radio de 2,18 metros.

Tanto si Ataq está en transmisión como en recepción, por trigonometría se obtiene que la altura del enlace cuando atraviesa la pista es de 26 metros. Por lo que la zona de obstrucción estará entre 23,82 metros y 28,18 metros justo donde está la pista, con un diámetro de 4,36 metros.

Enlace Ataq-Rep5B

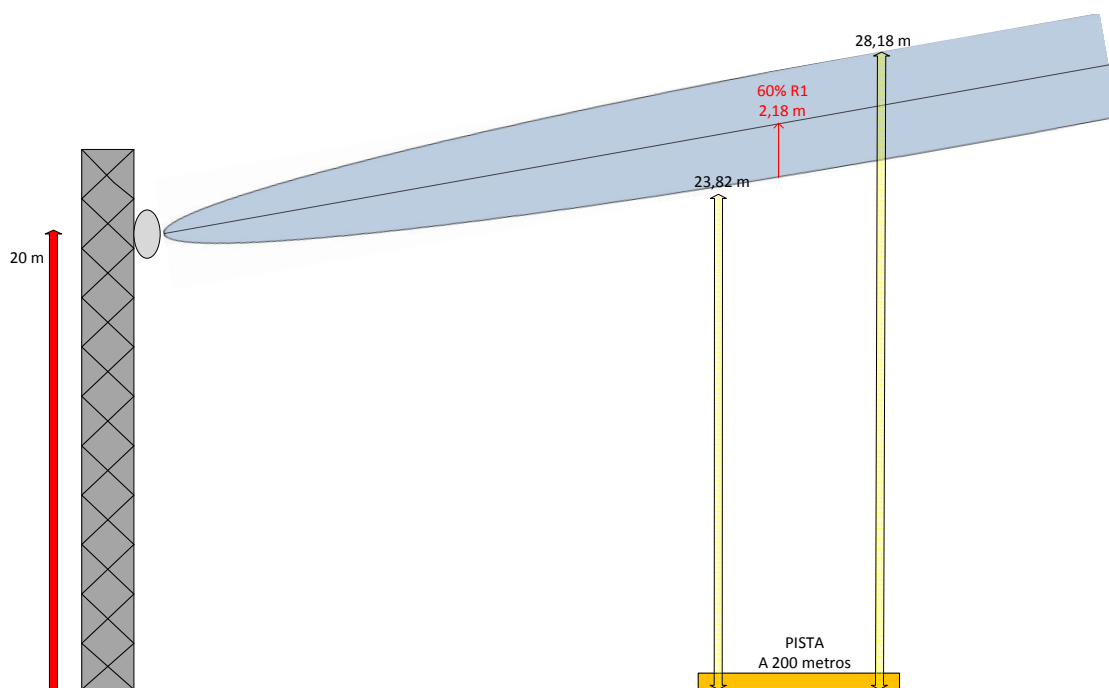


Figura 4-156: Zona de obstrucción enlace Ataq-Rep5B

Al igual que en el caso anterior, el bloqueo del enlace se podría dar por aviones que aterrizan o despegan justo pasando por esa zona, aunque en este caso el bloqueo sería aún más despreciable que el caso anterior ya que el diámetro de la zona es menor.

El problema estaría si hay aviones de 23 a 28 metros de altura que se quedan parados justo en esta zona lo que provocaría un bloqueo total del enlace.

Como ya hemos comentado, existen pocos aviones de estas dimensiones (por ejemplo, el Airbus A380) pero se recomienda que en la medida de lo posible se evite que los aviones queden parados justo en esta zona.

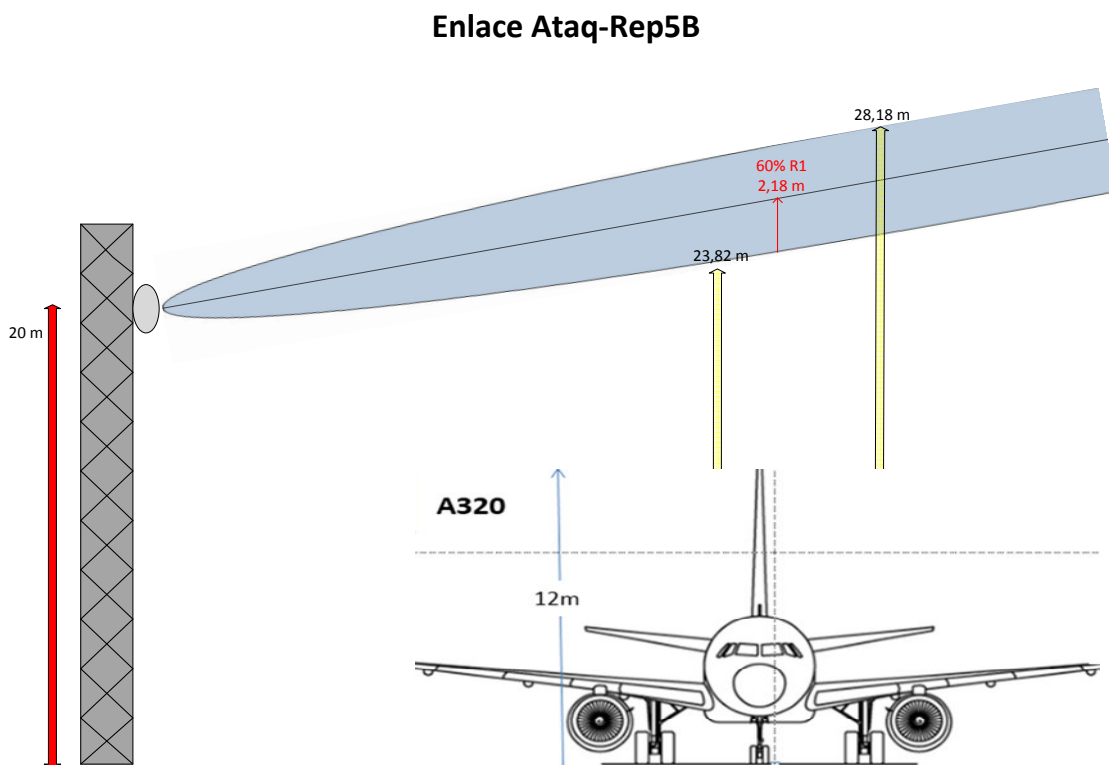


Figura 4-157: Parada del Airbus A320

4.7. Plan de frecuencias

4.7.1. Radio canales

En la Recomendación de la UIT-R F-1099-5 Serie F se explican la disposición de radiocanales en la banda de 4,4 a 5 GHz para el servicio fijo.

Utilizando la separación de canales de 28 MHz, están disponibles hasta 10 canales de ida y 10 de retorno.

Se define la frecuencia central en esta banda según:

$$f_0 = 4\,700 \text{ MHz}$$

f_n la frecuencia central de un radiocanal situado en la parte inferior de la banda (MHz)

f'_n la frecuencia central de un radiocanal situado en la parte superior de la banda (MHz)

Y las frecuencias centrales de cada canal (siendo $n=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10$)

$$\text{mitad inferior de la banda: } f_n = f_0 - 310 + 28 n$$

$$\text{mitad superior de la banda: } f'_n = f_0 + 2 + 28 n$$

Como regla general todos los canales de ida deben encontrarse en una mitad de la banda y todos los canales de retorno en la otra mitad de la banda.

Por lo que obtenemos:

Canal	Ida (MHz)	Retorno (MHz)
F1	4418	4730
F2	4446	4758
F3	4474	4786
F4	4502	4814
F5	4530	4842
F6	4558	4870
F7	4586	4898
F8	4614	4926
F9	4642	4954
F10	4670	4982

Tabla 4-64: Radio canales

Como se puede observar la separación entre el canal de ida y de retorno son 312 MHz.

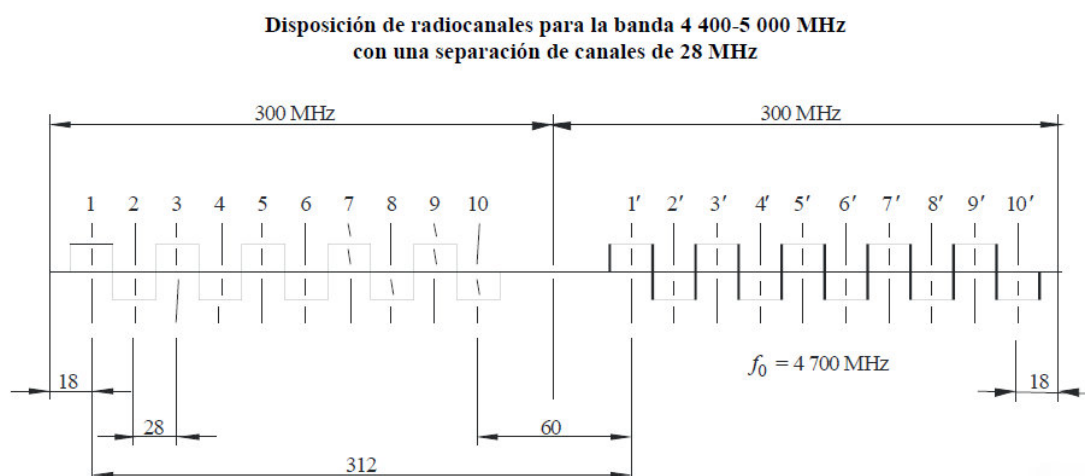


Figura 4-158: Disposición de radio canales con una separación de 28 MHz

La recomendación explica también que cuando las características de los equipos y la red lo permiten, puede utilizarse una reutilización de frecuencias cocanal de la disposición, con el acuerdo de las administraciones implicadas, para mejorar la eficacia en la utilización del espectro.

4.7.2. Planificación de frecuencias

El objetivo principal del plan de frecuencias es optimizar el uso del espectro radioeléctrico y minimizar las interferencias.

Según se ha obtenido en los apartados anteriores, se tienen 37 enlaces en total con las siguientes configuraciones:

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas
1	Aden Airport	Taiz Airport			134		
	Aden	Rep1A	15/25	15/25	105,79	1+1 SD	1.8
	Rep1A	Taiz	20	20	28,23	1+1 HSB	1.2
2	Taiz Airport	Hodeidah Airport			173		
	Hodeidah	Rep2A	15/25	15/25	90,17	1+1 SD	1.8
	Rep2A	Rep2B	20	20	53,48	1+1 HSB	1.2
	Rep2B	Rep2C	20	20	33,53	1+1 HSB	1.2
	Rep2C	Taiz	20	20	4,89	1+1 HSB	1.2
3	Hodeidah Airport	Sanaa Airport			154		
	Hodeidah Airport	Rep3A	15/25	15/25	89,36	1+1 SD	1.8
	Rep3A	Rep3B	20	20	29,78	1+1 HSB	1.2
	Rep3B	Rep3C	20	20	25,01	1+1 HSB	1.2
	Rep3C	Sanaa Airport	20	20	13,02	1+1 HSB	1.2
4	Sanaa Airport	Ataq Airport			293		
	Ataq	Rep4A	15/25	15/25	71,99	1+1SD	1.8
	Rep4A	Rep4B	15/25	15/25	147,22	1+1SD	1.8
	Rep4B	Rep4C	20	20	67,91	1+1HSB	1.2
	Rep4C	Sanaa	20	20	21,83	1+1HSB	1.2
5	Ataq Airport	Aden Airport			273		
	Aden	Rep5A	15/25	15/25	118,39	1+1SD	1.8
	Rep5A	Rep5B	15/25	15/25	126,53	1+1SD	1.8
	Rep5B	Ataq	30	20	35,48	1+1HSB	1.2
6	Ataq Airport	Seiyun Airport			263		
	Seiyun	Rep6A	20	20	34,49	1+1HSB	1.2
	Rep6A	Rep6B	15/25	15/25	80,32	1+1SD	1.8
	Rep6B	Rep6C	35	35	54,91	1+1HSB	1.8
	Rep6C	Rep6D	20	20	51,18	1+1HSB	1.8
	Rep6D	Rep6E	20	20	43,13	1+1HSB	1.8
	Rep6E	Ataq	20	20	10,03	1+1HSB	1.2
7	Seiyun Airport	Al Ghaydah Airport			364		
	Al Ghaydah Airport	Rep7A	15/25	15/25	81,81	1+1SD	1.8
	Rep7A	Rep7B	15/25	15/25	128,34	1+1SD	2.4

	Rep7B	Rep7C	15/25	15/25	103,72	1+1SD	1.8
	Rep7C	Rep7D	40	40	44,45	1+1HSB	1.8
	Rep7D	Seiyun Airport	20	20	19,02	1+1HSB	1.2
8	Al Ghaydah Airport	Ryan Mukalla Airport			346		
	Al Ghaydah	Rep8A	20	20	59,07	1+1HSB	1.8
	Rep8A	Rep8B	15/25	15/25	78,07	1+1SD	1.8
	Rep8B	Rep8C	15/25	15/25	104,54	1+1SD	1.8
	Rep8C	Rep8D	15/25	15/25	104,4	1+1SD	1.8
	Rep8D	Riyan Mukalla	20	20	10,63	1+1HSB	1.2
9	Ryan Mukalla Airport	Seiyun Airport			157		
	Riyan Mukalla	Rep9A	20	20	50,92	1+1 HSB	1.8
	Rep9A	Rep9B	35	35	19,79	1+1 HSB	1.2
	Rep9B	Rep9C	15/25	15/25	99,76	1+1 SD	1.8
	Rep9C	Seiyun Airport	20	20	7,38	1+1 HSB	1.2

Tabla 4-65: Configuración enlaces

A continuación se van a asignar los radio canales de la tabla anterior según la recomendaciones de la UIT, también se especifica que en la medida de lo posible para evitar interferencias un mismo emplazamiento debe transmitir siempre en la banda baja o alta de cada radio canal.

Se va a aplicar estas consideraciones para cada enlace. El procedimiento a seguir sería, por ejemplo:

- Aden va a transmitir en la mitad baja de la banda en el primer radio canal F1, a 4418 MHz y va a recibir en la mitad alta de la banda en F1, a 4730 MHz,
- Lo que implica que Rep 1A transmitirá tanto hacia Aden como hacia Taiz en la mitad alta de la banda F1, a 4730 MHz,
- Taiz transmitirá hacia Rep1A y hacia Rep2C en la mitad baja de la banda en F1 a 4418 MHz,
- Rep2C transmitirá hacia Taiz y hacia Rep2B en la mitad alta de la banda F1, a 4730 MHz,
- Rep2B transmitirá hacia hacia Rep2C y Rep2A en la mitad baja de la banda F1, a 4418 MHz,
- Rep2A transmitirá hacia Rep2B y Hodeidah en la mitad alta de la banda F1, a 4730 MHz,
- Hodeidah transmitirá hacia Rep2A y Rep3A en la mitad baja de la banda F1, a 4418 MHz.
- Y así sucesivamente hasta el último enlace.

Hay que tener en cuenta que la mayor parte de los emplazamientos tienen sólo dos enlaces, y por la topología de la red estos enlaces casi siempre están separados a más de 90°/100° incluso en algún emplazamiento cada antena está apuntando a lados opuestos

(180°). Lo que nos hace pensar que con un radio canal, F1, para toda la red pueda ser suficiente para no tener problemas de interferencias. Se van a usar también polarizaciones distintas en vanos sucesivos (según recomendación UIT-R F.636) para asegurar que no se tendrán problemas de interferencias.

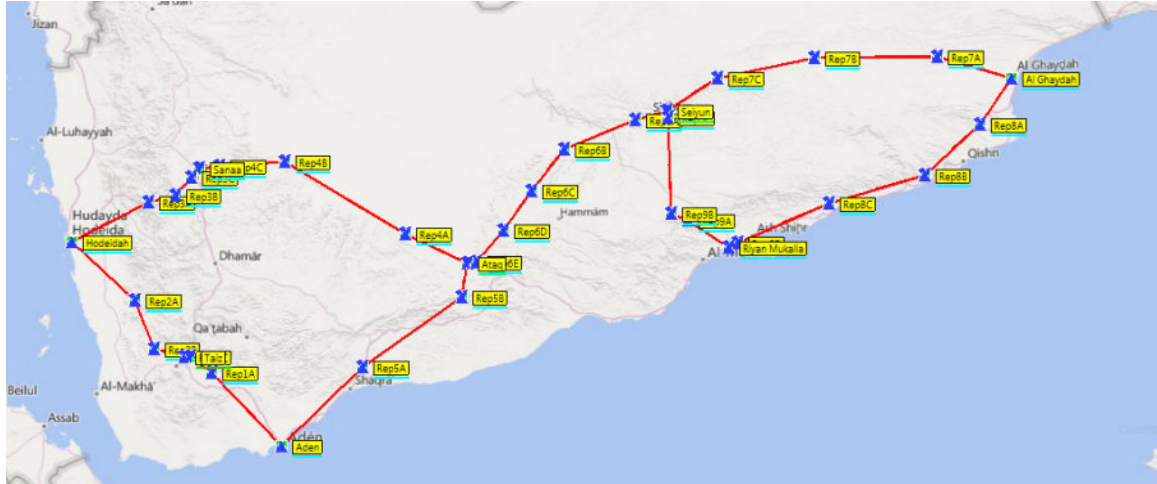


Figura 4-159: Enlaces de la red

No obstante, hay algún punto más delicado como Ataq o Seiyun donde se tienen 3 enlaces y nos puede dar problemas de interferencias aunque siempre podemos incluir otro radio canal (F2) o los que necesitemos, y usar polarizaciones distintas de un mismo radio canal.

CAPÍTULO 4: DISEÑO RADIOENLACES

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas	Freqs.No	TX (A) MHz	TX (A) (L/H)	RX (A) MHz	RX (A) L/H	Polarization V/H
1	Aden Airport	Taiz Airport			134								
	Aden	Rep1A	15/25	15/25	105,79	1+1 SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	V
	Rep1A	Taiz	20	20	28,23	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	H
2	Taiz Airport	Hodeidah Airport			173								
	Hodeidah	Rep2A	15/25	15/25	90,17	1+1 SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep2A	Rep2B	20	20	53,48	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep2B	Rep2C	20	20	33,53	1+1 HSB	1.2	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep2C	Taiz	20	20	4,89	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
3	Hodeidah Airport	Sanaa Airport			154								
	Hodeidah Airport	Rep3A	15/25	15/25	89,36	1+1 SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	V
	Rep3A	Rep3B	20	20	29,78	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	H
	Rep3B	Rep3C	20	20	25,01	1+1 HSB	1.2	F1	4418	L	4730	H	V
	Rep3C	Sanaa Airport	20	20	13,02	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	H
4	Sanaa Airport	Ataq Airport			293								
	Ataq	Rep4A	15/25	15/25	71,99	1+1SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep4A	Rep4B	15/25	15/25	147,22	1+1SD	1.8	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep4B	Rep4C	20	20	67,91	1+1HSB	1.2	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep4C	Sanaa	20	20	21,83	1+1HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
5	Ataq Airport	Aden Airport			273								
	Aden	Rep5A	15/25	15/25	118,39	1+1SD	1.8	F2	4758	H	4446	L	H
	Rep5A	Rep5B	15/25	15/25	126,53	1+1SD	1.8	F2	4446	L	4758	H	V
	Rep5B	Ataq	35	20	35,48	1+1HSB	1.2	F2	4758	H	4446	L	H
6	Ataq Airport	Seiyun Airport			263								
	Seiyun	Rep6A	20	20	34,49	1+1HSB	1.2	F1	4418	L	4730	H	H

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE RADIOENLACES

	Rep6A	Rep6B	15/25	15/25	80,32	1+1SD	1.8	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep6B	Rep6C	35	35	54,91	1+1HSB	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep6C	Rep6D	20	20	51,18	1+1HSB	1.8	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep6D	Rep6E	20	20	43,13	1+1HSB	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep6E	Ataq	20	20	10,03	1+1HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
7	Seiyun Airport	Al Ghaydah Airport			364								
	Al Ghaydah Airport	Rep7A	15/25	15/25	81,81	1+1SD	1.8	F1	4730	H	4418	L	H
	Rep7A	Rep7B	15/25	15/25	128,34	1+1SD	2.4	F1	4418	L	4730	H	V
	Rep7B	Rep7C	15/25	15/25	103,72	1+1SD	1.8	F1	4730	H	4418	L	H
	Rep7C	Rep7D	40	40	44,45	1+1HSB	1.8	F1	4418	L	4730	H	V
	Rep7D	Seiyun Airport	20	20	19,02	1+1HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	H
8	Al Ghaydah Airport	Ryan Mukalla Airport			346								
	Al Ghaydah	Rep8A	20	20	59,07	1+1HSB	1.8	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep8A	Rep8B	15/25	15/25	78,07	1+1SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep8B	Rep8C	15/25	15/25	104,54	1+1SD	1.8	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep8C	Rep8D	15/25	15/25	104,4	1+1SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep8D	Riyan Mukalla	20	20	10,63	1+1HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
9	Ryan Mukalla Airport	Seiyun Airport			157								
	Riyan Mukalla	Rep9A	20	20	50,92	1+1 HSB	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep9A	Rep9B	35	35	19,79	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep9B	Rep9C	15/25	15/25	99,76	1+1 SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep9C	Seiyun Airport	20	20	7,38	1+1 HSB	1.2	F2	4730	H	4418	L	V

Tabla 4-66: Plan de frecuencias

Siguiendo el procedimiento anteriormente descrito, al asignar las frecuencias a los enlaces entre Ataq y Aden para cerrar el anillo, no se ha podido seguir la recomendación citada anteriormente de que Aden transmitiera hacia Rep5A en la mitad baja de la banda por lo que para evitar posibles interferencias se ha asignado a esta parte el radio canal F2.

Es decir, Aden transmitirá hacia Rep1A en la mitad baja de la banda en F1 (4418 MHz) y por tanto recibirá en este vano en la mitad alta de la banda en F1 (4730 MHz) con polarización vertical y transmitirá hacia Rep5A en la mitad alta de la banda en F2 (4758 MHz) y recibirá en la mitad baja de la banda en F2 (4446 MHz) con polarización horizontal.

A continuación, se simula este plan de frecuencias con el software ATDI ICS Designer teniendo en cuenta que la relación C/I tiene que ser de 20 dBs, y asumiendo que todas las antenas tienen una discriminación por polarización cruzada de 30 dB.

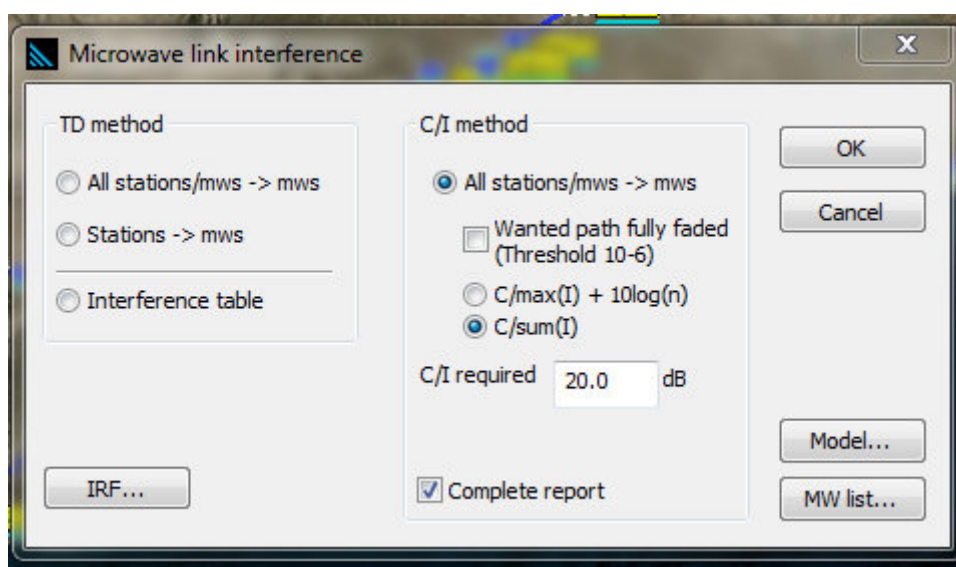


Figura 4-160: Análisis de interferencias

El resultado de la simulación del plan de frecuencias es satisfactorio y no obtenemos ninguna interferencia que supere el umbral establecido entre los vanos de la red.

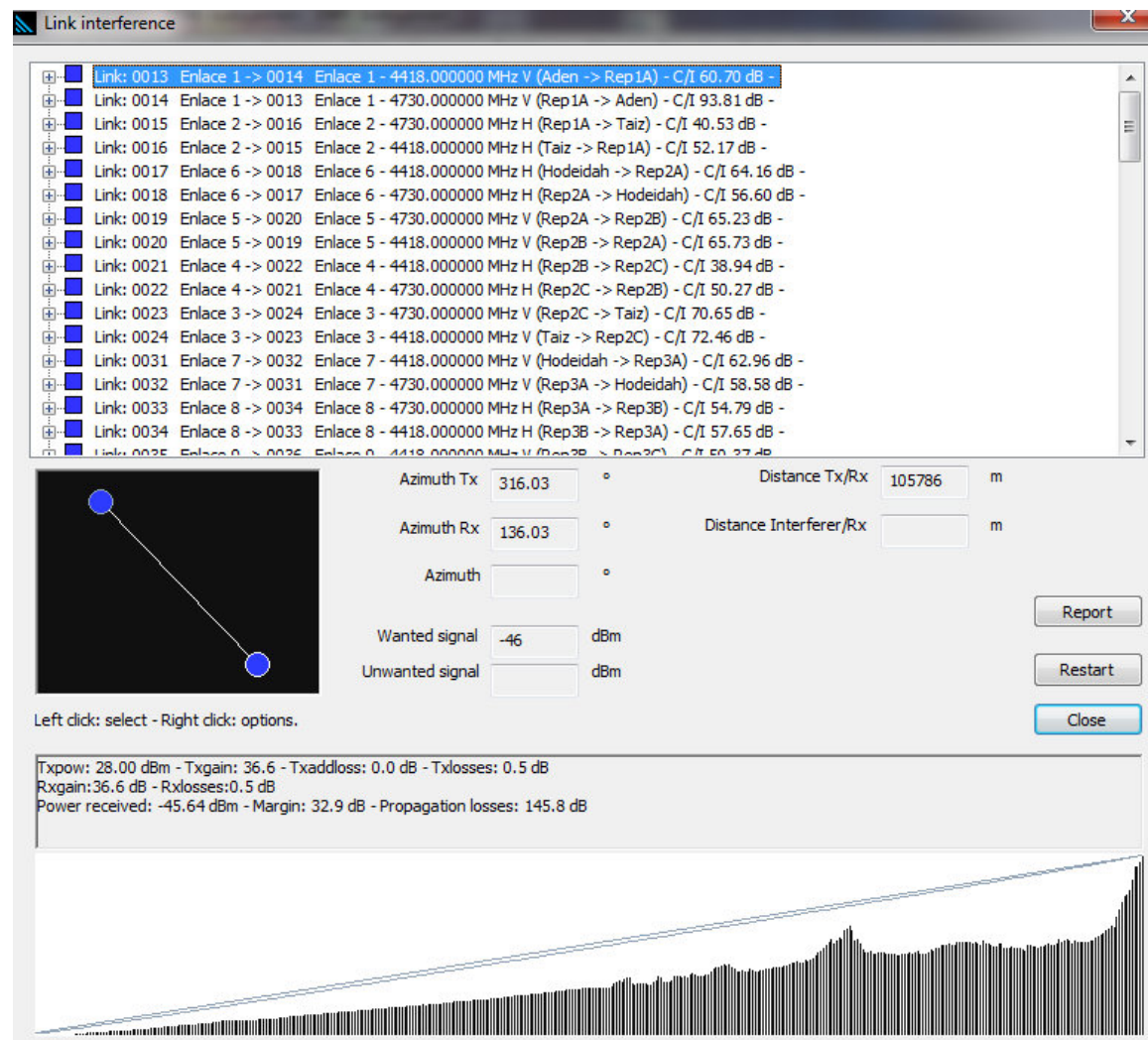


Figura 4-161: Simulación interferencias

4.8. Disponibilidad de la red

Como punto final para el diseño se realiza la simulación de toda la red de Yemen para verificar si obtenemos la disponibilidad objetivo del 99,99% (implicaría que sólo 52,6 minutos al año la red completa no estaría disponible).

Ya se ha verificado la disponibilidad por vano del 99,99%, que implica que cada vano como mucho no puede estar disponible 52,6 minutos al año o lo que es lo mismo que está disponible 525.547,4 minutos al año.

Microwave margin											
From	To	Ident	Margin dB	PR dBm	Mode	Gain eq (dB)	Reliab (%)	Outage	Modulation	Kbits/s	
13	14	Enlace 1	51.97	-45.54	LOS	-18.52	99.999975	0	F: 16-QAM	80000.00	
14	13	Enlace 1	50.24	-46.23	LOS	-15.83	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
15	16	Enlace 2	28.70	-49.80	LOS	-8.70	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
16	15	Enlace 2	29.29	-49.21	LOS	-9.29	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
17	18	Enlace 6	67.84	-44.25	LOS	-21.85	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
18	17	Enlace 6	64.55	-44.84	LOS	-11.59	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
19	20	Enlace 5	23.17	-55.33	LOS	-3.17	99.999421	3	F: 16-QAM	80000.00	
20	19	Enlace 5	23.76	-54.74	LOS	-3.76	99.999518	3	F: 16-QAM	80000.00	
21	22	Enlace 4	27.84	-50.66	LOS	-7.84	99.999971	0	F: 16-QAM	80000.00	
22	21	Enlace 4	27.25	-51.25	LOS	-7.25	99.999965	0	F: 16-QAM	80000.00	
23	24	Enlace 3	11.07	-67.43	NLOS	8.03	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
24	23	Enlace 3	11.96	-66.54	NLOS	8.04	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
31	32	Enlace 7	66.43	-44.16	LOS	-24.14	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
32	31	Enlace 7	66.28	-44.75	LOS	-14.34	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
33	34	Enlace 8	28.29	-50.21	LOS	-8.29	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
34	33	Enlace 8	28.89	-49.61	LOS	-8.89	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
35	36	Enlace 9	30.30	-48.20	LOS	-10.30	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
36	35	Enlace 9	29.71	-48.79	LOS	-9.71	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
37	38	Enlace 10	35.54	-42.96	LOS	-15.54	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
38	37	Enlace 10	36.13	-42.37	LOS	-16.13	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
39	40	Enlace 14	71.82	-42.29	LOS	-27.55	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
40	39	Enlace 14	70.52	-42.88	LOS	-26.49	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
41	42	Enlace 13	36.24	-56.10	LOS	-7.57	99.998283	5	F: 16-QAM	80000.00	
42	41	Enlace 13	42.35	-55.51	LOS	-7.74	99.999712	2	F: 16-QAM	80000.00	
43	44	Enlace 12	21.71	-56.79	LOS	-1.71	99.999809	1	F: 16-QAM	80000.00	
44	43	Enlace 12	21.12	-57.38	LOS	-1.12	99.999726	1	F: 16-QAM	80000.00	
45	46	Enlace 11	30.98	-47.52	LOS	-10.98	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
46	45	Enlace 11	31.58	-46.92	LOS	-11.58	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
49	50	Enlace 17	61.89	-47.25	LOS	-11.54	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
50	49	Enlace 17	55.01	-46.66	LOS	-11.09	99.999944	0	F: 16-QAM	80000.00	
51	52	Enlace 16	51.40	-47.25	LOS	-18.36	99.999981	0	F: 16-QAM	80000.00	
52	51	Enlace 16	58.47	-47.84	LOS	-18.10	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
53	54	Enlace 15	26.67	-51.83	LOS	-6.67	99.999984	0	F: 16-QAM	80000.00	
54	53	Enlace 15	27.26	-51.24	LOS	-7.26	99.999987	0	F: 16-QAM	80000.00	
60	61	Enlace 23	27.54	-50.96	LOS	-7.54	99.999630	2	F: 16-QAM	80000.00	
61	60	Enlace 23	26.95	-51.55	LOS	-6.95	99.999552	2	F: 16-QAM	80000.00	
62	63	Enlace 22	60.74	-43.81	LOS	-22.95	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
63	62	Enlace 22	68.57	-43.22	LOS	-17.98	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
64	65	Enlace 21	31.56	-46.94	LOS	-11.56	99.999890	1	F: 16-QAM	80000.00	
65	64	Enlace 21	30.97	-47.53	LOS	-10.97	99.999867	1	F: 16-QAM	80000.00	
66	67	Enlace 20	31.58	-46.92	LOS	-11.58	99.999765	1	F: 16-QAM	80000.00	
67	66	Enlace 20	32.17	-46.33	LOS	-12.17	99.999864	1	F: 16-QAM	80000.00	
68	69	Enlace 19	33.66	-44.84	LOS	-13.66	99.999894	1	F: 16-QAM	80000.00	
69	68	Enlace 19	33.07	-45.43	LOS	-13.07	99.999871	1	F: 16-QAM	80000.00	
70	71	Enlace 18	37.73	-40.77	LOS	-17.73	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
71	70	Enlace 18	38.32	-40.18	LOS	-18.32	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
75	76	Enlace 28	67.70	-44.00	LOS	-16.29	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
76	75	Enlace 28	62.54	-43.40	LOS	-17.14	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
77	78	Enlace 27	57.87	-41.93	LOS	-8.35	99.999840	1	F: 16-QAM	80000.00	
78	77	Enlace 27	54.93	-42.52	LOS	-12.45	99.999802	1	F: 16-QAM	80000.00	
79	80	Enlace 25	56.13	-46.04	LOS	-8.56	99.999918	0	F: 16-QAM	80000.00	
80	79	Enlace 25	53.42	-45.45	LOS	-7.58	99.999787	1	F: 16-QAM	80000.00	
85	86	Enlace 29	30.33	-48.17	LOS	-9.40	99.998720	7	F: 16-QAM	80000.00	
86	85	Enlace 29	30.92	-47.58	LOS	-10.24	99.998942	6	F: 16-QAM	80000.00	
87	88	Enlace 30	65.47	-43.00	LOS	-17.61	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
88	87	Enlace 30	61.97	-43.59	LOS	-16.77	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
89	90	Enlace 31	52.05	-46.14	LOS	-4.07	99.999458	3	F: 16-QAM	80000.00	
90	89	Enlace 31	48.98	-45.55	LOS	-9.89	99.999647	2	F: 16-QAM	80000.00	
91	92	Enlace 32	54.01	-45.49	LOS	-5.48	99.999708	2	F: 16-QAM	80000.00	
92	91	Enlace 32	48.14	-46.08	LOS	-0.95	99.997263	14	F: 16-QAM	80000.00	
93	94	Enlace 33	37.43	-41.07	LOS	-17.43	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
94	93	Enlace 33	38.02	-40.48	LOS	-18.02	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
98	99	Enlace 34	39.21	-39.29	LOS	-19.21	99.999942	0	F: 16-QAM	80000.00	
99	98	Enlace 34	38.62	-39.88	LOS	-18.62	99.999930	0	F: 16-QAM	80000.00	
100	101	Enlace 35	31.86	-46.84	LOS	-11.86	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
101	100	Enlace 35	32.45	-46.05	LOS	-12.45	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
102	103	Enlace 36	59.08	-45.14	LOS	-15.77	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
103	102	Enlace 36	58.18	-45.73	LOS	-16.74	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
104	105	Enlace 37	40.39	-38.11	LOS	-20.39	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
105	104	Enlace 37	40.98	-37.52	LOS	-20.98	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
107	108	Enlace 25	33.40	-45.10	LOS	-8.45	99.998538	8	F: 16-QAM	80000.00	
108	107	Enlace 25	32.80	-45.70	LOS	-7.59	99.998218	9	F: 16-QAM	80000.00	
109	110	Enlace 24	32.17	-46.33	LOS	-12.17	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	
110	109	Enlace 24	32.77	-45.73	LOS	-12.77	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00	

Total reliability BER 10-6 (): 99.984684 - Outage time (mn): 81

Figura 4-162: Disponibilidad 99,98%

Como se observa la “Total reliability con BER 10^{-6} ” es del 99,98% por lo que no se alcanza el objetivo de disponibilidad. Esto seguramente es debido a que hay enlaces donde se producen cortes. Estos cortes no implican que la disponibilidad por vano baje del 99,99% pero afectan a la disponibilidad en conjunto de toda la red.

Para hacer la red más robusta y llegar a conseguir una “Total reliability” del sistema de 99,99%, modificamos la configuración de los enlaces con microcortes.

Los enlaces a rediseñar serían:

- Rep2A-Rep2B
- Rep4A-Rep4B
- Rep4B-Rep4C
- Seiyun-Rep6A
- Rep6B-Rep6C
- Rep6C-Rep6D
- Rep6D-Rep6E
- Rep7A-Rep7B
- Rep7B-Rep7C
- Rep7C-Rep7D
- Al Ghaydah-Rep8A
- Rep8B-Rep8C
- Rep8C-Rep8D
- Riyan Mukalla-Rep9A

Se obtiene el siguiente diseño (se ha resaltado en naranja lo que se ha modificado de la configuración para hacer el enlace más robusto).

CAPÍTULO 4: DISEÑO RADIOENLACES

Enlace	Site A	Site B	Altura antena site A (m)	Altura antena site B (m)	Distancia del enlace (km)	Configuración enlace	Tamaño antenas	Freqs.No	TX (A) MHz	TX (A) L/H	RX (A) MHz	RX (A) L/H	Polarization V/H
1	Aden Airport	Taiz Airport			134								
	Aden	Rep1A	15/25	15/25	105,79	1+1 SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	V
	Rep1A	Taiz	20	20	28,23	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	H
2	Taiz Airport	Hodeidah Airport			173								
	Hodeidah	Rep2A	15/25	15/25	90,17	1+1 SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep2A	Rep2B	20	20	53,48	1+1 HSB	1.8	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep2B	Rep2C	20	20	33,53	1+1 HSB	1.2	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep2C	Taiz	20	20	4,89	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
3	Hodeidah Airport	Sanaa Airport			154								
	Hodeidah Airport	Rep3A	15/25	15/25	89,36	1+1 SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	V
	Rep3A	Rep3B	20	20	29,78	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	H
	Rep3B	Rep3C	20	20	25,01	1+1 HSB	1.2	F1	4418	L	4730	H	V
	Rep3C	Sanaa Airport	20	20	13,02	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	H
4	Sanaa Airport	Ataq Airport			293								
	Ataq	Rep4A	15/25	15/25	71,99	1+1SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep4A	Rep4B	15/25	15/25	147,22	1+1SD	3	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep4B	Rep4C	20	20	67,91	1+1HSB	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep4C	Sanaa	20	20	21,83	1+1HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
5	Ataq Airport	Aden Airport			273								
	Aden	Rep5A	15/25	15/25	118,39	1+1SD	1.8	F2	4758	H	4446	L	H
	Rep5A	Rep5B	15/25	15/25	126,53	1+1SD	1.8	F2	4446	L	4758	H	V
	Rep5B	Ataq	35	20	35,48	1+1HSB	1.2	F2	4758	H	4446	L	H
6	Ataq Airport	Seiyun Airport			263								
	Seiyun	Rep6A	20	20	34,49	1+1HSB	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep6A	Rep6B	15/25	15/25	80,32	1+1SD	1.8	F1	4730	H	4418	L	V

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE RADIOENLACES

	Rep6B	Rep6C	25/35	25/35	54,91	1+1SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep6C	Rep6D	15/25	15/25	51,18	1+1SD	1.8	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep6D	Rep6E	15/25	15/25	43,13	1+1SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep6E	Ataq	20	20	10,03	1+1HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
7	Seiyun Airport	Al Ghaydah Airport			364								
	Al Ghaydah Airport	Rep7A	15/25	15/25	81,81	1+1SD	1.8	F1	4730	H	4418	L	H
	Rep7A	Rep7B	15/25	15/25	128,34	1+1SD	3	F1	4418	L	4730	H	V
	Rep7B	Rep7C	15/25	15/25	103,72	1+1SD	2.4	F1	4730	H	4418	L	H
	Rep7C	Rep7D	40	40	44,45	1+1SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	V
	Rep7D	Seiyun Airport	20	20	19,02	1+1HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	H
8	Al Ghaydah Airport	Ryan Mukalla Airport			346								
	Al Ghaydah	Rep8A	15/25	15/25	59,07	1+1 SD	1.8	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep8A	Rep8B	15/25	15/25	78,07	1+1SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep8B	Rep8C	15/25	15/25	104,54	1+1SD	2.4	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep8C	Rep8D	25/30	25/30	104,4	1+1SD	3	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep8D	Riyan Mukalla	20	20	10,63	1+1HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
9	Ryan Mukalla Airport	Seiyun Airport			157								
	Riyan Mukalla	Rep9A	15/25	15/25	50,92	1+1 SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep9A	Rep9B	35	35	19,79	1+1 HSB	1.2	F1	4730	H	4418	L	V
	Rep9B	Rep9C	15/25	15/25	99,76	1+1 SD	1.8	F1	4418	L	4730	H	H
	Rep9C	Seiyun Airport	20	20	7,38	1+1 HSB	1.2	F2	4730	H	4418	L	V

Tabla 4-67: Diseño final de la red de MW entre los principales aeropuertos de Yemen

CAPÍTULO 4: DISEÑO RADIOENLACES

A continuación se realiza la misma simulación para obtener la disponibilidad de toda la red:

Microwave margin

From	To	Ident	Margin dB	PR dBm	Mode	Gain req (dB)	Reliab (%)	Outage	Modulation	Kbits/s
13	14	Enlace 1	51.97	-45.64	LOS	-18.52	99.999976	0	F: 16-QAM	80000.00
14	13	Enlace 1	60.24	-46.23	LOS	-15.83	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
15	16	Enlace 2	28.70	-49.80	LOS	-8.70	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
16	15	Enlace 2	29.29	-49.21	LOS	-9.29	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
17	18	Enlace 6	67.54	-44.25	LOS	-21.85	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
18	17	Enlace 6	64.55	-44.84	LOS	-11.59	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
19	20	Enlace 5	31.17	-47.33	LOS	-11.17	99.999906	0	F: 16-QAM	80000.00
20	19	Enlace 5	31.76	-46.74	LOS	-11.76	99.999922	0	F: 16-QAM	80000.00
21	22	Enlace 4	27.84	-50.66	LOS	-7.84	99.999958	0	F: 16-QAM	80000.00
22	21	Enlace 4	27.25	-51.25	LOS	-7.25	99.999962	0	F: 16-QAM	80000.00
23	24	Enlace 3	43.97	-34.53	LOS	-23.97	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
24	23	Enlace 3	44.56	-33.94	LOS	-24.56	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
31	32	Enlace 7	66.65	-44.16	LOS	-24.14	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
32	31	Enlace 7	66.28	-44.75	LOS	-14.34	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
33	34	Enlace 8	28.29	-50.21	LOS	-8.29	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
34	33	Enlace 8	28.89	-49.61	LOS	-8.89	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
35	36	Enlace 9	30.30	-48.20	LOS	-10.30	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
36	35	Enlace 9	29.71	-48.79	LOS	-9.71	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
37	38	Enlace 10	35.54	-42.96	LOS	-15.54	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
38	37	Enlace 10	36.13	-42.37	LOS	-16.13	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
39	40	Enlace 14	71.82	-42.23	LOS	-27.55	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
40	39	Enlace 14	70.52	-42.88	LOS	-26.49	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
41	42	Enlace 13	48.95	-47.30	LOS	-14.18	99.999945	0	F: 16-QAM	80000.00
42	41	Enlace 13	55.32	-46.71	LOS	-14.23	99.999985	0	F: 16-QAM	80000.00
43	44	Enlace 12	29.71	-48.79	LOS	-9.71	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
44	43	Enlace 12	29.12	-49.38	LOS	-9.12	99.999956	0	F: 16-QAM	80000.00
45	46	Enlace 11	30.98	-47.52	LOS	-10.98	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
46	45	Enlace 11	31.58	-46.92	LOS	-11.58	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
49	50	Enlace 17	61.89	-47.25	LOS	-11.54	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
50	49	Enlace 17	55.01	-46.66	LOS	-11.09	99.999944	0	F: 16-QAM	80000.00
51	52	Enlace 16	51.40	-47.25	LOS	-18.35	99.999981	0	F: 16-QAM	80000.00
52	51	Enlace 16	58.47	-47.84	LOS	-18.10	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
53	54	Enlace 15	26.67	-51.33	LOS	-6.67	99.999984	0	F: 16-QAM	80000.00
54	53	Enlace 15	27.26	-51.94	LOS	-7.26	99.999987	0	F: 16-QAM	80000.00
60	61	Enlace 23	35.54	-42.96	LOS	-15.54	99.999941	0	F: 16-QAM	80000.00
61	60	Enlace 23	34.95	-43.55	LOS	-14.95	99.999928	0	F: 16-QAM	80000.00
62	63	Enlace 22	60.74	-43.81	LOS	-22.95	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
63	62	Enlace 22	68.57	-43.22	LOS	-17.98	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
64	65	Enlace 21	61.09	-46.94	LOS	-24.89	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
65	64	Enlace 21	61.34	-47.53	LOS	-24.22	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
66	67	Enlace 20	62.56	-46.92	LOS	-23.62	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
67	66	Enlace 20	63.72	-46.33	LOS	-24.93	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
68	69	Enlace 19	80.72	-37.84	LOS	-33.24	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
69	68	Enlace 19	79.53	-38.43	LOS	-32.56	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
70	71	Enlace 18	37.73	-40.77	LOS	-17.73	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
71	70	Enlace 18	38.32	-40.18	LOS	-18.32	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
75	76	Enlace 28	67.70	-44.00	LOS	-16.29	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
76	75	Enlace 28	62.54	-43.40	LOS	-17.14	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
77	78	Enlace 27	62.77	-38.53	LOS	-10.90	99.999950	0	F: 16-QAM	80000.00
78	77	Enlace 27	60.03	-39.12	LOS	-14.94	99.999966	0	F: 16-QAM	80000.00
79	80	Enlace 26	64.23	-40.64	LOS	-12.52	99.999987	0	F: 16-QAM	80000.00
80	79	Enlace 26	61.52	-40.05	LOS	-11.56	99.999966	0	F: 16-QAM	80000.00
85	86	Enlace 29	55.28	-48.17	LOS	-19.09	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
86	85	Enlace 29	59.94	-47.58	LOS	-19.85	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
87	88	Enlace 30	65.51	-43.00	LOS	-17.61	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
88	87	Enlace 30	61.97	-43.59	LOS	-16.77	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
89	90	Enlace 31	60.15	-40.74	LOS	-8.12	99.999915	0	F: 16-QAM	80000.00
90	89	Enlace 31	57.08	-40.15	LOS	-13.85	99.999945	0	F: 16-QAM	80000.00
91	92	Enlace 32	72.21	-38.69	LOS	-14.64	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
92	91	Enlace 32	66.38	-37.28	LOS	-10.09	99.999959	0	F: 16-QAM	80000.00
93	94	Enlace 33	37.43	-41.07	LOS	-17.43	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
94	93	Enlace 33	38.02	-40.48	LOS	-18.02	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
98	99	Enlace 34	69.52	-39.29	LOS	-30.65	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
99	98	Enlace 34	76.48	-39.88	LOS	-29.94	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
100	101	Enlace 35	31.86	-46.64	LOS	-11.86	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
101	100	Enlace 35	32.45	-46.05	LOS	-12.45	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
102	103	Enlace 36	59.08	-45.14	LOS	-15.77	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
103	102	Enlace 36	58.18	-45.73	LOS	-16.74	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
104	105	Enlace 37	40.39	-38.11	LOS	-20.39	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
105	104	Enlace 37	40.98	-37.52	LOS	-20.98	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
107	108	Enlace 25	65.64	-45.10	LOS	-18.94	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
108	107	Enlace 25	60.40	-45.70	LOS	-18.11	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
109	110	Enlace 24	32.17	-48.33	LOS	-12.17	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00
110	109	Enlace 24	32.77	-45.73	LOS	-12.77	99.999989	0	F: 16-QAM	80000.00

Total reliability BER 10-6 (:): 99.998483 - Outage time (mn): 8

Figura 4-163: Disponibilidad del 99,99%

Ahora sí, se obtiene un 99,99% de disponibilidad y se puede ver que el tiempo de corte ha disminuido.

Por tanto, ya tenemos el diseño final de nuestra red.

Capítulo 5

Conclusiones

Como se ha podido ver en el último apartado se ha conseguido el objetivo de este estudio que era llegar a una red de radioenlace óptima que uniera los principales aeropuertos de Yemen permitiendo mejorar la coordinación y organización de su espacio aéreo.

Así mismo, durante la realización de este Proyecto Fin de Carrera se ha podido ver en detalle una a una las distintas fases.

En resumen:

- 1. Análisis del problema y del objetivo que se quiere conseguir.**
- 2. Recopilación de datos de los emplazamientos que se quieren conectar:**

- a. Si hay línea de vista o no entre ellos,

En este punto se ha observado que hay una gran distancia entre la mayor parte de los aeropuertos por lo que la curvatura de la tierra influye muchísimo y hace que la línea de vista directa entre dos aeropuertos sea imposible. Esto sumado a que Yemen presenta una orografía muy abrupta hace necesario el uso de repetidores incluso en distancias menores.

- b. Ubicaciones de las torres de comunicaciones en los aeropuertos.

Se ha buscado la mejor ubicación dentro del aeropuerto que no interfiera en la medida de lo posible la visibilidad de la torre de control.

3. Estudio de la arquitectura de red teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes de las distintas opciones.

Se ha elegido una arquitectura formada por 2 anillos ya que la topología en anillo permite llegar a un mismo sitio por dos caminos diferentes lo que hace tener una arquitectura más segura frente a fallos influyendo de forma positiva en la disponibilidad de la red.

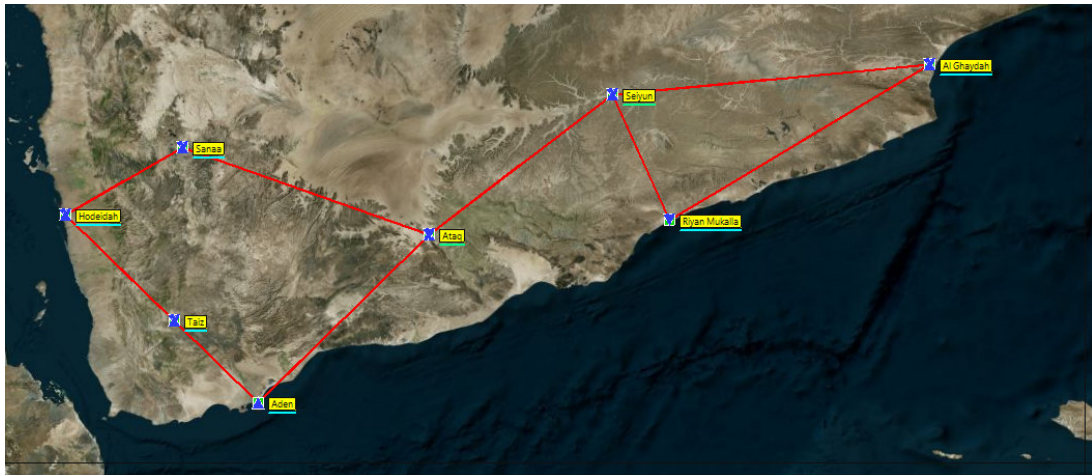


Figura 5-1: Topología de red

4. Búsqueda de los puntos repetidores necesarios con un estudio de coberturas.

Se ha realizado un estudio de cobertura con el software de planificación radio a la frecuencia por defecto (170 MHz.) para localizar aquellos puntos intermedios desde donde si hay línea de vista.

5. Elección de la banda de frecuencias a usar.

Se ha elegido la banda de 4,4 a 5 GHz. La banda de frecuencias influye directamente en la zona de Fresnel para verificar la viabilidad de cada enlace.

6. Según las necesidades de la red, se toman las especificaciones técnicas necesarias y se decide la configuración de los enlaces.

Los requerimientos de la red son conseguir una capacidad en cada enlace de 80 Mbps y una disponibilidad del servicio en toda la red del 99,99%.

De acuerdo a la banda de frecuencias que se ha elegido, se elige según las recomendaciones de la ITU una separación de canales de 28 MHz.

El diseño está basado en equipos separados (IDU y ODU) y una configuración de enlaces en 1+1 Hot Standby y 1+1 en diversidad de espacio, lo que implica en ambos casos redundancia en la parte de RF (ODU).

De acuerdo a todas estas especificaciones se ha elegido equipamiento (IDU, ODU y antenas) de fabricantes generales y se han obtenido los datos necesarios para realizar el balance de enlace.

7. Balance de enlace para verificar la viabilidad de cada enlace

En el balance de enlace teórico se ha tenido en cuenta para el diseño de cada enlace dejar un margen frente al desvanecimiento de al menos 20 dBs.

Se ha obtenido la simulación del perfil del enlace para verificar la viabilidad y obtener un 99,99% de disponibilidad. Teniendo en cuenta siempre el despejamiento de al menos el 60% de la 1ª zona de Fresnel. Se ha comprobado que a estas frecuencias la zona de Fresnel disminuye respecto a lo obtenido en el punto 4.

8. Estudio de interferencias con un plan de frecuencias propuesto.

Con el diseño de cada vano, se ha propuesto un plan de frecuencias teniendo en cuenta las recomendaciones de la ITU y se ha simulado el estudio de interferencias en la red teniendo en cuenta que la relación C/I tiene que ser de 20 dBs.

9. Verificación de la disponibilidad de toda la red.

Se ha comprobado que aunque cada vano tiene un 99,99% de disponibilidad, no quiere decir que la red tenga esa disponibilidad por lo que el diseño de la red ha sufrido unas pequeñas modificaciones en algunos enlaces. Con este ajuste en el diseño se ha vuelto a realizar la simulación consiguiendo el 99,99 de disponibilidad en toda la red

10. Presentación del diseño final

Como se ha podido ver, uniendo los cálculos teóricos y la herramienta de planificación radio que utiliza mapas del terreno con una determinada resolución (50 metros en este estudio) nos permiten llegar a un diseño completo.

Es un trabajo complejo en el que hay que tener en cuenta muchos factores (emplazamientos, orografía, distancias entre puntos, altura de torres, repetidores, frecuencias, capacidad de la red, simulaciones, etc) y en muchas ocasiones cuando se ha avanzado en alguna fase hay que volver a repetir fases anteriores si los resultados obtenidos no son buenos, pero siempre la complejidad del estudio depende del tamaño de la red que haya que diseñar.

5.1. Trabajos futuros

Es imprescindible para la implementación del diseño obtenido **realizar una toma de datos sobre el terreno** ya que los mapas que usan las herramientas software de planificación radio hay que tener en cuenta que no son del todo exactos y considerar siempre un margen de error.

Es necesario en esta toma de datos, verificar sobre el terreno la línea de vista entre puntos, las localizaciones sugeridas para ubicar la torre de comunicaciones, y también comprobar que no existen otras redes en la misma banda de frecuencias que puedan causar interferencias, lo que lleva a chequear con el organismo público correspondiente de Yemen el plan de frecuencias propuesto.

Capítulo 6

Presupuesto

Todo proyecto siempre tiene un apartado de presupuesto en el que se debe analizar el tiempo dedicado a él, los medios utilizados, los costes que le han producido al proyectando, y luego aplicarle el margen de beneficio que se estime oportuno que se quiere ganar en el proyecto realizado.

Para conocer el esfuerzo del proyectando, además de la etapa de ejecución del mismo hay que considerar ciertas tareas que también fue necesario realizar, y que se han considerado para calcular su duración:

- Estudios de antecedentes y documentación: Consiste en buscar información relacionada con el proyecto, antecedentes, búsqueda de documentación útil, etc. Con esta tarea se comienza el proyecto, pero es una actividad continua durante todo el desarrollo de éste.
- Tiempo dedicado al aprendizaje de las herramientas usadas: (Software de planificación radio ICS Designer).
- Estudio de ingeniería.
- Realización de simulaciones.
- Redacción de la memoria.

Para calcular el presupuesto total de este trabajo, vamos a desglosarlo según los costes ocasionados:

6.1. Costes del personal

Estos costes serán la suma de los costes del proyectando y de la persona encargada de la dirección del proyecto.

- En este caso la persona encargada de llevar a cabo los experimentos y las conclusiones obtenidas de ellos es el proyectando.

Apellidos, nombre	categoría profesional	Dedicación (persona/mes)	Coste (persona/mes)	Coste (euros)
Ortiz Montero, Teresa María	Ingeniero Técnico	80	9324,00	55.944,00

- Costes de dirección del proyecto.

Estos costes son los asociados a la dirección de este proyecto, supervisión y revisión del mismo.

Descripción	Coste/euros	% dedicación	dedicación (meses)	Coste imputable (euros)
Dirección	20000	10	6	12.000,00

6.2. Costes derivados del equipamiento utilizado

Software de planificación radio ICS Designer y ordenador personal del proyectando:

Descripción	Coste/euros	% dedicación	dedicación (meses)	periodo depreciación	Coste imputable (euros)
ICS Designer	19500	50	6	0	19500
Intel Core Duo	500	100	6	60	50
AMD Phenom™ II X4	500	100	6	60	50
Total					19.600,00

6.3. Costes de funcionamiento

Otros costes relacionados con la creación del proyecto son los siguientes:

Microsoft Office 2007: El Office es necesario para poder realizar el documento final de la memoria del proyecto.

Tarifa ADSL: Una conexión a Internet ha sido necesaria para poder hacer uso del software de planificación radio además de para obtener información y documentación relacionado con el proyecto. El coste de la tarifa es de 36 € y se ha utilizado durante 6 meses.

Sistema operativo Windows: es el sistema operativo en el cual se ha llevado a cabo la memoria, no produce costes adicionales al venir como sistema operativo en ordenador usado.

Descripción	Coste imputable (euros)
Microsoft Office 2007	140
Tarifa ADSL	216
Total	356

6.4. Costes de la red de microondas

Descripción	Coste imputable (euros)
Total Material (incluido torres de comunicaciones, IDU, ODU, antenas, cableado, licencia de software y material de instalación)	2,209.940,00
Mano de obra (instalación, puesta en marcha, configuración y pruebas) 5 años	4,504.000,00
Total	6,713.940,00

6.5. Resumen de los costes

Descripción	Presupuesto Costes Totales
Personal	55.944,00
Equipamiento utilizado	19.600,00
Costes de funcionamiento	356,00
Costes dirección	12.000,00
Material Red de Microondas	2,209.940,00
Mano de obra ejecución 5 años	4,504.000,00
Total	6,801.840,00

Acrónimos

ATDI: Advanced Topographic Development & Images
BER: Bit Error Rate (Tasa de error de bit)
CAG: Control Automático de Ganancia
CRC: Códigos de redundancia cíclica
C/I: Carrier to Interference ratio (Relación señal-interferencia)
dB: decibelio
dBi: decibelio isótropo
dBm: decibelio-miliwatio
dBu: decibelio referido a voltio
EHF: Extremely High Frequency
EIRP: Equivalent isotropically radiated power (Potencia isotrópica radiada equivalente)
FD: Frequency diversity (Diversidad en frecuencia)
FEC: Forward Error Correction
FI: Frecuencia Intermedia
GHz: Gigahercio
H: High band
H: Horizontal polarization
HF: High Frequency
HSB: Hot Standby (listo-en espera)
IDU: Indoor Unit

Inter.: International
KHz: kilohercio
Kms: kilómetros
Km2: kilómetros cuadrados
L: Low band
Lb: pérdidas básicas de propagación
LF: Low Frequency
LOS: Line of sight (Línea de vista)
m: metro
max.: máxima
Mbps: Mega bits por segundo
MF: Medium Frequency
MHz: Megahercio
N/A: No aplica
ODU: Outdoor Unit
PFC: Proyecto Fin de Carrera
QAM: modulación por amplitud en cuadratura
Rep: estación repetidora
RF: Radio frecuencia
RX: Recepción
SD: Space diversity (diversidad espacial)
SHF: Super High Frequency
TX: Transmisión
UHF: Ultra High Frequency
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)
V: Vertical polarization
VHF: Very High Frequency
VLF: Very Low Frequency
W: Watios

Referencias

Libro “Transmisión por radio” de Jose María Hernando Rábanos

Mapa de Yemen en Google Earth: <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

Información sobre Yemen en Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Yemen>

Información ICS Designer: <http://www.atdi.co.uk/>

Manuales de uso de ICS Designer: [Getting_Started_ICS_designer_v.0.4.pdf](#)

Mapas SRTM: <http://dds.cr.usgs.gov/srtm/>

Zonas UTM: <http://www.dmap.co.uk/utmworld.gif>

Equipamiento de la red (IDU y ODU): <http://www.aviatnetworks.com/>

Equipamiento de la red (antenas): <http://www.commscope.com/>